

AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

Uma viagem por TCCs
do curso Tecnólogo em
Automação Industrial -
UERGS



João Alvarez Peixoto
(Organizador)

JOÃO ALVAREZ PEIXOTO
(ORG.)

Automação industrial:
uma viagem por TCCs do curso Tecnólogo em Automação Industrial -
UERGS

1ª Edição

Porto Alegre
UERGS
2023

Reitor Interino

Fernando Guaragna Martins

Pró-Reitor de Ensino

Gilvane Souza de Matos

Pró-Reitora de Extensão

Adriana Helena Lau

Pró-Reitor de Administração

Vilmar Antônio Boff

Pró-Reitor de Pesquisa e Pós-Graduação

Alexandre Guimarães Derivi



Universidade Estadual do Rio Grande do Sul

Reitoria: Rua Washington Luiz, 675, Centro Histórico, Porto Alegre – RS

CEP: 90010-460– Fone: (51) 32889000

www.uergs.edu.br

© 1. ed. 2023 – Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS)
Qualquer parte desta publicação pode ser reproduzida, desde que citada a fonte.



Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial-Sem Derivações 4.0 Internacional.

Esta licença permite que outros façam download dos seus trabalhos e os compartilhem desde que atribuam crédito a você, mas sem que possam alterá-los de nenhuma forma ou utilizá-los para fins comerciais

Texto da licença

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Catálogo da Publicação na Fonte (CIP)

P379a Peixoto, João Alvarez (Org.).
Automação industrial: uma viagem por TCCs
do curso Tecnólogo em Automação Industrial –
UERGS/ João Alvarez Peixoto – 1.ed. –
Porto Alegre: Uergs, 2023

470 p.; il.
ISBN: 978-65-86105-92-6

1. Tecnólogo. 2. Automação. 3. TCC.
I. Peixoto, João Alvarez. II. Universidade Estadual
do Rio Grande do Sul. III. Título.

CDU: 681.5 P379a

Ficha catalográfica por Simone Semensatto – CRB/10-1778

Revisão de normalização: Carina Lima- CRB10/1905

Revisão de referências: Simone Semensatto – CRB/10-1778

Diagramação e Capa: João Alvarez Peixoto

Revisão textual: João Alvarez Peixoto

Apresentação: João Alvarez Peixoto

ISBN: 978-65-86105-92-6

<http://doi.org/10.21674/9786586105926.1-468>

SUMÁRIO

Apresentação	
A AUTOMAÇÃO APLICADA NO DIA A DIA	7
<i>Prof. Dr. João Alvarez Peixoto</i>	
1	
SUPERVISÃO INTERATIVA DE UMA PLANTA INDUSTRIAL DE PROCESSO CONTÍNUO	17
<i>Lucas Lopes Paszinski</i>	
2	
APRIMORAMENTO DA INTERAÇÃO HUMANO-MÁQUINA EM PRENSAS HIDRÁULICAS PARA RECICLAGEM	38
<i>Guilherme Fernando Nery</i>	
3	
ESTUDO DE GIGA DE TESTES APLICADA A CONFIGURAÇÕES PADRÕES DE GRUPOS GERADORES DE ENERGIA DE COMBUSTÃO A DIESEL	58
<i>Jonas Gidion Crixel</i>	
4	
MANUTENÇÃO INTELIGENTE: PLATAFORMA PARA AQUISIÇÃO DE DADOS EM ATUADORES ELÉTRICOS	73
<i>Rodrigo Bastos de Souza</i>	
5	
DESENVOLVIMENTO DE UM BIORREATOR MODULAR, COM FUNCIONALIDADES CUSTOMIZADAS PARA UTILIZAÇÃO EM LABORATÓRIO UNIVERSITÁRIO.....	88
<i>Rodrigo Vargas</i>	
6	
DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE ACONDICIONAMENTO DE LIVROS RAROS, AUTOMATIZADO E COM CARACTERÍSTICAS DE MOBILIDADE....	115
<i>Lucas Cardozo Ferreira</i>	
7	
SISTEMA DE TRANSPORTADORES AUTÔNOMOS INTERATIVOS NO CONTEXTO DA INDÚSTRIA 4.0	135
<i>Bruno Luiz De Pizzol</i>	
8	
SISTEMA AUTÔNOMO DE COLETA DE INFORMAÇÕES DE PRODUÇÃO	160
<i>Felipe Haack</i>	
9	
KIT DIDÁTICO MODULAR PARA ENSINO UTILIZANDO ARDUINO.....	175
<i>Gustavo Gregory</i>	

10	ESTUDO PRELIMINAR DE SISTEMA FOTOVOLTAICO DE IRRIGAÇÃO EM PEQUENAS PROPRIEDADES RURAIS	194
	<i>Sidnei Borges de Oliveira</i>	
11	ESTUDOS DAS FUNCIONALIDADES DA VIRTUALIZAÇÃO EM PROCESSO DE MANUFATURA INDUSTRIAL	212
	<i>Cristiano Schmidt da Cruz</i>	
12	ESTUDO DE VIABILIDADE DE OTIMIZAÇÃO DE SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA: AUTOMAÇÃO DE LUMINÁRIAS	232
	<i>Daniel Altenhofer Linck</i>	
13	ESTUDO PRELIMINAR DE SUPERVISÃO DE SISTEMAS DE MANUFATURA A PARTIR DE COMPARTILHAMENTO DE DADOS DE PRODUÇÃO EM NUVEM	262
	<i>Élio Cardoso Júnior</i>	
14	ESTUDO DE SISTEMAS DE NAVEGAÇÃO EM TRANSPORTADORES AUTÔNOMOS.....	284
	<i>Rafael Pereira Gonçalves</i>	
15	ESTUDO DE CASO NA AUTOMAÇÃO DE SISTEMA DE CONJUNTO DE ESTAMPAGEM E SOLDAGEM	310
	<i>Adriano dos Santos Mathes</i>	
16	CASA 4.0: ESTUDO DE FUNCIONALIDADES QUE UMA AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL INTERATIVA PROPORCIONA	351
	<i>Guilherme Maciel Guedes</i>	
17	ESTUDO PRELIMINAR DE AUTOMAÇÃO DOS MONITORAMENTOS E ACIONAMENTOS NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE CERVEJA ARTESANAL DE FORMA REMOTA.....	376
	<i>Henri de Araújo Andrade</i>	
18	ESTUDO DE MONITORAMENTO AUTOMATIZADO DE VARIÁVEIS DE MANUFATURA DE PRODUTOS CUSTOMIZADOS	398
	<i>Adriano Leite Evangelista</i>	
19	ESTUDO DE SISTEMA AUTOMATIZADO PARA CULTIVO HIDROPÔNICO COM LUZ ARTIFICIAL DE BAIXA ESCALA.....	424
	<i>Carlos Eduardo Gonçalves Peixoto</i>	

ESTUDO EM MANUTENÇÃO DE TRANSPORTADORES BASEADO EM ESTIMATIVA DE FALHAS, A PARTIR DE RECURSOS DE AUTOMAÇÃO452

Giacomo Souza Tavares

SOBRE OS AUTORES.....464

APRESENTAÇÃO

A AUTOMAÇÃO APLICADA NO DIA A DIA

Prof. Dr. João Alvarez Peixoto

“Prepare seu coração, pras coisas que vou contar ...”, assim começa a música “Disparada”¹, eternizada na interpretação de Jair Rodrigues, e assim começa nossa história, de alunos do curso Tecnólogo em Automação Industrial da Uergs, que tive a honra de orientá-los em seus trabalhos de conclusão de curso (TCC).

Um trabalho de conclusão de curso vai além de utilizar os conhecimentos, competências e habilidades desenvolvidas em aulas e disciplinas. É a mobilização deste conhecimento agregado para dar um propósito, resolvendo um problema da vida real. E tudo isto utilizando o método científico.

E vai mais além! São horas e horas de dedicação, de pesquisa, de aprendizado, que só a carga horária de um semestre letivo não é suficiente. É necessário ir além! Madrugadas estudando, fim-de-semanas dedicados à pesquisa, momentos em que a família fica sem suas presenças, momentos que o mundo passa significar uma única sigla: TCC.

Ao orientador cabe a função de indicar o caminho. Mas não tem como ser só isto. Somos seres humanos também e acaba por haver um envolvimento, passando a fazer parte do trabalho do orientando, vivendo junto suas histórias.

E por isso resolvi contar estas histórias na forma de um livro, que congrega um resumo expandido de cada um dos 20 TCCs que orientei, durante a existência do curso Tecnólogo em Automação Industrial, na Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS, em Porto Alegre, no período de 2017 a 2023.

O trabalho do tecnólogo Lucas Lopes Paszinski foi uma das minhas primeiras experiências como professor orientador na UERGS. Já o conhecia por ele ter sido aluno bolsista em um projeto de iniciação científica, o qual eu coordenava. Aproveitando a

¹ Música Disparada foi composta por Geraldo Vandré e Theophilo Neto, eternizada na interpretação do cantor Jair Rodrigues, que com ela venceu o Festival Internacional da Canção em 1966.

pesquisa realizada na iniciação científica, acabou pivotando os resultados para seu trabalho de conclusão de curso. O Lucas se preocupou com a atenção que os analistas químicos dispensavam à experimentos laboratoriais, com vistas a se certificarem de que nenhuma variável de seus processos sairia do comportamento desejado, sem que houvesse uma devida correção. A hipótese que Lucas aventou foi uma supervisão interativa de processos contínuos, principalmente laboratoriais, de forma que a planta interagisse com o analista ou operador, avisando-o quando sua atenção ao processo fosse requerida, liberando-o seu tempo de trabalho para se dedicar a outras atividades, dentro do laboratório. Foi o primeiro caso de máquina interagindo com humano, realizado na UERGS, sendo o precursor e referência para que outros viessem a ocorrer. Mas tudo tem um começo e o Lucas foi este começo.

O trabalho do Guilherme Fernando Nery trouxe uma visão diferente do mercado de trabalho do tecnólogo em automação industrial, pois sai um pouco do contexto de produção de bens e foca os processos na área de reciclagem de resíduos, vislumbrando a automação de máquinas para este fim. Algo muito interessante, pois evidencia que os alunos não são somente preparados para indústria, mas preparados para vida. Aqui começa a preocupação social e ambiental no curso, através de seus formandos. Um trabalho pioneiro que provocou a interação entre a máquina e o ser humano, com o propósito de tornar mais eficiente os processos de compactação de resíduos recicláveis, visando o transporte deles. Vale a pena ler e ver a preocupação social embutida na proposta técnica.

O Jonas Gidion Crixel abre um outro horizonte da automação industrial, que diz respeito a geração de energia, comprovando os eixos temáticos distintos em que um tecnólogo em automação industrial pode atuar. O Jonas trouxe uma abordagem de como supervisionar processos de geração de energia em baixa escala, de forma intuitiva e interativa, amigável ao operador, que muitas vezes é supervisionada pelo próprio síndico de um prédio residencial. Aqui se percebeu a preocupação em editar uma interface que fosse sugestiva ao usuário, que pela própria intuição já pudesse ser operada. É a preocupação com o ser humano que irá operar o equipamento, já dando as primeiras mostras de “desenho universal”, um conceito que vai além do projeto em si, que leva em consideração a pessoa que o utilizará, com suas características peculiares, deficiências ou necessidades.

E chegamos à manutenção, uma área em que se realiza a correção de defeitos através da intervenção imediata, a prevenção de suas ocorrências através de inspeções

periódicas e a predição através da substituição de componentes, propensos a falha após um período de uso. Mas nestas 3 técnicas rotineiras há um custo, seja pela parada do equipamento ou pela substituição preventiva de componentes, que ainda possuem uma vida útil. É como a manutenção em veículo: você não quer a manutenção corretiva, pois significa que o veículo parou de vez, muitas vezes no meio da estrada; a manutenção preventiva é aquele custo de realizar a revisão periódica, obrigatória, mas que dói no bolso; e a manutenção preditiva é o óleo do motor, que você troca a cada 10.000km, segundo indicação do fabricante, pois na maioria dos casos é este o tempo de degradação, mas que poderia durar mais, ou então menos, pois esta predição é uma definição estatística. O Rodrigo Bastos de Souza trouxe uma abordagem de manutenção inteligente, em que se monitora o comportamento da máquina ou equipamento e verifica sua tendência a falhar, podendo a manutenção ser programada, evitando custos adicionais à troca de componentes. Algo inovador, que revolucionará a manutenção, dentro de um contexto de interação entre máquina e usuário, preconizado pela Indústria 4.0.

Já o trabalho de Rodrigo Vargas evidenciou a interdisciplinaridade, pois partiu de um estudo que começara no curso de Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia da unidade Uergs de Bento Gonçalves-RS, e com interação entre alunos e professores do curso de lá, foi possível caracterizar a demanda e implementar o Biorreator Modular, em que o(a) analista químico(a) customiza o equipamento segundo o experimento que deseja realizar. Isto trouxe uma redução no custo de investimento em equipamentos que possui muitas funções distintas, mas que para alguns tipos de laboratórios, poucas delas são utilizadas. A preocupação com o usuário do estudo foi o ponto maior deste trabalho, mostrando a interação do Rodrigo com outras áreas, evidenciando a automação como área meio, auxiliando a todas as demais áreas a tornarem seus processos automáticos e interativos.

E dentro da linha de interdisciplinaridade, surge o trabalho do Lucas Cardozo Ferreira. Um trabalho em conjunto com o curso de Letras, da unidade Uergs de Porto Alegre, que recebera uma doação de livros raros, sendo a condição para doação era haver um local adequado para acondicionar o acervo. Começou então um estudo sobre o tema, com interação com especialistas da área e alunos do curso, caracterizando como o sistema de acondicionamento deveria funcionar. Tudo pairou sobre a umidade, que faz com que as pragas que se alimentam da celulose se proliferem. E o Lucas trouxe uma tecnologia interessante, pois necessitava resfriar o ambiente para que a umidade condensasse, drenar o condensado para fora do ambiente e aquecer esta parte externa, para que a vaporização

ocorresse fora do local em que os livros se encontrassem. Ele utilizou uma célula de Peltier, que tem as propriedades de aquecer ou resfriar em mesmo componente. Uma solução inovadora para seu trabalho, mostrando que a inovação tem muita sinergia com a automação de processos.

E por falar em inovação, temos o trabalho do Bruno Luiz De Pizzol, que através de um sistema de transportadores autônomos interativos no contexto da indústria 4.0, provocou a interatividade entre máquinas, em uma tecnologia M2M (*Machine to Machine* – máquina para máquina), dentro dos preceitos de indústria 4.0. Em um momento que a preocupação em inovar pairava sobre as máquinas e sobre os produtos, o Bruno baliza sua pesquisa sobre os transportadores, que são os elos que ligam todo o sistema produtivo e definem do grau de autonomia que cada processo de manufatura possui. A diversidade, graus de customização e lotes pequenos de produção, passam necessariamente por sistemas de transportes inteligentes, capazes que definir e traçar novas rotas, dando fluxos distintos ao processo de produção. É a indústria 4.0 chegando de vez nas propostas de TCC do curso Tecnólogo em Automação Industrial da Uergs.

O Felipe Haack dá continuidade a essa proposta de propiciar interação entre máquinas, através de seu sistema autônomo de coleta de informações de produção, tornando mais eficiente e automático o conhecimento do estado de operação das máquinas e equipamentos de um processo fabril. São dados de gestão que permitem uma melhor tomada de decisões por parte do gestor do processo fabril, uma vez que passa a conhecer exatamente quais máquinas estão em operação, quais estão em manutenção, quais estão em disponibilidade, de forma automática e em tempo real. A interação humano com máquina passa a fazer sentido, pois a informação é a grande oferta de valor, em tempos de indústria 4.0.

Se tudo agora é interativo, por que não interagir entre o real e o virtual? Foi o que Cristiano Schmidt da Cruz realizou em seu estudo das funcionalidades da virtualização em processo de manufatura industrial. Simular os sistemas de manufatura já ocorrem desde que a Indústria 3.0 ocorreu, no início da década de 70, no século passado, quando a automação se tornou a tecnologia para garantir a repetibilidade nas operações fabris. Mas o que o Cristiano abordou foi uma interação entre a parte real de um sistema de gestão da manufatura e uma parte virtual. Este preceito da Indústria 4.0 (virtualização) faz com que os controladores lógicos programáveis reais possam interagir com sensores e atuadores de uma planta virtual, editada para este propósito, de forma que se possa editar toda a programação dos controladores sem a necessidade de se ter a planta física. Algo

que só ocorreria após toda a montagem das máquinas (parte mecânica, elétrica e lógica), restando pouco tempo para etapa de programação, vital para o bom funcionamento de todo o processo. A proposta do Cristiano pressupõe que as duas atividades andem juntas em um projeto de máquina: a montagem da planta e a programação dos controladores, de forma a se encontrarem no final, na fase de comissionamento real. É a Indústria 4.0 em sua plenitude, abordada em estudos dos alunos do curso Tecnólogo em Automação Industrial da Uergs.

E a área de ensino, como fica? Bem, um curso que se propõe a ser área meio, auxiliando as demais áreas a tornarem seus produtos ou serviços automáticos e significativos, não poderia deixar de atuar na área de ensino. Foi o que motivou o Gustavo Gregory, ao estudar as formas de produzir uma prova de conceito de um kit didático modular para ensino, visando o ensino de princípios físicos. Neste kit o professor e seus alunos puderam customizar experimentos e ensaios, regulando grandezas sensoriadas e atuando sobre o ensaio. Este estudo trouxe a aprendizagem significativa como norteador, provocando uma interação do pesquisador com os aspectos pedagógicos que permeiam o aprendizado. Um eixo temático incomum nos cursos de automação industrial, mas necessário serem abordados. E o Gustavo teve a perspicácia de provocar este tema e estudar sobre.

Já que fomos além dos processos de manufatura industrial, permeamos laboratórios e sistemas de aprendizagem, por que não chegarmos à comunidade em si. Foi o que Sidnei Borges de Oliveira, em seu estudo de irrigação em pequenas propriedades rurais. O Sidnei abordou um problema social, que diz respeito a pequenos produtores de hortaliças, distantes de tecnologias e processos inovadores, mas que tiram daquele cultivo o sustento de sua família. Sidnei percebeu que a irrigação deveria prever a necessidade do solo e da planta em cultivo, pois nem toda a área do canteiro necessita a mesma quantidade de água, assim como plantas distintas necessitam de quantidade de água distinta. Com um processo de automatização, o Sidnei tornou automático a dosagem de água em cada parte da área de cultivo, realizando o sensoriamento de umidade do solo e considerando o tipo de planta que ali está sendo cultivado. E implementou este processo em uma horta piloto, como prova de conceito. E me recordo de quando o Sidnei me enviou fotos e vídeos do canteiro de cultivo (já que estávamos em período de pandemia), e nelas apareceu uma pessoa com instrumentos agrários em mãos. Ao questionar o Sidnei sobre quem era a pessoa, ele me respondera ser seu sogro, que participou de todas as etapas do estudo. Bem, quando dizemos que em um TCC a família participa junto, não

estamos mentindo, o Sidnei trouxe uma prova disto. Um TCC vai muito além de uma monografia publicada em uma biblioteca. São histórias de vida que acontecem, todos os dias, e ficam na lembrança, ficam na história.

Assim como a história do Daniel Altenhofer Linck, que neste mesmo período de pandemia, passou a viver em uma cidade litorânea do Rio Grande do Sul, pouco habitada no período de inverno, por se tratar de um balneário, o que fazia muito sentido, já que a premissa na pandemia era o isolamento social. E ele se incomodou com algo que ocorre todos os dias, em muitos lugares. O fato que a iluminação pública fica ligada a noite toda, independente de terem pessoas utilizando a via pública. O Daniel ampliou seu estudo e verificou o consumo de energia elétrica que esta iluminação ineficiente demanda e o custo que isto provoca à gestão pública, que é quem paga esta conta. Em seu estudo de viabilidade de otimização de sistemas de iluminação pública, o Daniel propôs uma prova de conceito em que a gestão da iluminação detecta a presença de usuários nas vias públicas e provê sua iluminação no caminho que ele estiver realizando, desligando ou reduzindo a iluminação nos momentos em que não há transeuntes ou veículos ocupando as vias. Uma preocupação social interessante, que leva a automação além dos processos produtivos, impactando diretamente a sociedade e seu modo de vida. Vale a pena conferir.

A história do Élio Cardoso Júnior é interessante, pois mostra a evolução de expectativa do aluno, do momento da proposta até o momento que realiza a prova de conceito. O Élio iniciou o TCC com uma proposta de criar uma conexão entre as máquinas e o setor de manutenção de uma empresa, de forma a detectar a solicitação de manutenção, mesmo estando a distância. E culminou em um sistema de aquisição de dados da máquina e seu compartilhamento em nuvem, sendo monitorado por plataformas IoT por qualquer dispositivo ligado a internet. Um fio virou uma conexão em nuvem. Isto mostra o quanto a expectativa de um aluno se desenvolve durante o trabalho de conclusão e o quando conseguem aprender por sua conta. Foi um trabalho dentro da linha de conexão máquina a máquina (M2M), com muita inovação.

Um AGV (*Automated Guided Vehicle* – Veículo guiado autonomamente) acaba por utilizar algum sistema de navegação, a cada passo de seu trajeto. Mas qual sistema pode ser mais promissor, viável, factível, entre outros? O Rafael Pereira Gonçalves fez isto, em seu estudo de sistemas de navegação em transportadores autônomos, em que analisou AGVs com sistemas de navegação distintos. Retomamos aqui a preocupação com os transportadores, vitais em processos de manufatura, pois são eles responsáveis pelo produto passar de máquina em máquina, executando em cada uma delas, processos

que lhe concederão a forma e funcionalidades finais. Um estudo que serve como balizador a pessoas que estão em dúvida de qual sistema de navegação utilizar, considerando as especificidades de seu processo de manufatura e a forma com que o produto deve ser transportado.

E quando os alunos realizam o TCC em uma aplicação na própria empresa a que são funcionários, aplicando os conhecimentos diretamente no processo industrial real? Foi o que o Adriano dos Santos Mathes fez, ao coletar dados de um processo de soldagem de um sistema que realiza uma estampagem e soldagem em um mesmo subproduto, verificando os dados do processo por meio de um sistema supervisor e inferindo a eficácia de cada operação em cada produto. Isto permite prever falhas no processo, a partir da análise de comportamento dos dados coletados e tendência a falhar. Esta aplicação foi implantada em uma empresa, a qual o Adriano estava vinculado, valendo como um estudo de caso de automação de processos industriais. Uma aplicação imediata dos conhecimentos e habilidades desenvolvidos no curso.

Uma pergunta que nunca fiz aos meus orientandos, no início de um TCC, foi o conhecimento sobre um determinado tópico de interesse. Eu sempre perguntei o que ele(a) gosta de fazer que tenha relação com o curso. Pois um TCC já é algo difícil por natureza, logo, deve ao menos ser algo prazeroso ao aluno, pois assim o difícil se torna um desafio, motivador e recompensador. Foi assim com o Guilherme Maciel Guedes, que no início do TCC disse estar gostando muito de Impressão 3D, assim como o tema de domótica (automação residencial). Então por que não juntar as coisas que mais gosta. Assim surge a Casa 4.0, um estudo de funcionalidades que uma automação residencial interativa proporciona. Neste trabalho o Guilherme implementou uma prova de conceito de sensoriamento e atuação em elementos de uma residência, através de dispositivos IoT e monitoramento por plataforma IoT, de forma remota. Sendo que essa prova de conceito foi evidenciada em uma maquete de uma residência, toda impressa em Impressora 3D. Percebe-se aqui o capricho dos alunos em apresentar algo além do funcional, mas com um acabamento e qualidade que possa agradar a quem observa ou avalia. É a automação conquistando o cliente, pois as funcionalidades da automação são recorrentes em trabalhos distintos, mas o capricho é algo único, que faz toda a diferença.

A automação de processos nos induz a automação industrial. Porém, há a automação residencial, automação comercial, automação em sistemas de ensino, automação em tudo. Alguns TCCs citados já evidenciam isto. E o Henri de Araújo Andrade trouxe algo diferente, uma automação para um processo doméstico, que diz

respeito a produção de cerveja artesanal, normalmente realizada por *hobby*, na própria casa, que pode ser um processo automatizado, não para ganhar quantidade e repetibilidade, mas para ganhar performance, pois estes processos de fabricação de alimentos e bebidas são críticos, e um minuto a mais ou um grau centígrados a menos já fazem diferença no produto. A automação proposta fez com que o cervejeiro, que necessitava ficar algumas horas monitorando o processo de cozimento do malte, passasse a monitorar este mesmo processo através de um aplicativo *mobile*, na palma da sua mão, de forma remota, sendo avisado caso alguma variável fugisse de um comportamento previsto e programado para ser monitorado. É a automação fazendo parte do dia a dia das pessoas.

O fato de pensarmos em produção industrial já vem em mente lotes grandes de produtos. Porém, há produtos que sua manufatura é praticamente unitária, pelo grau de complexibilidade, pelo tempo elevado de produção e pelo custo. Nestes casos, o correto apontamento de cada fase do processo faz diferença no custo e prazo final ao cliente. Foi este problema real que o Adriano Leite Evangelista trouxe para ser seu trabalho de conclusão de curso, algo que seria posteriormente implantado na empresa, a que tem vínculo funcional, na produção de moldes para injeção. Um produto que passa por vários processos e chega demandar até 10 dias de trabalho para ficar finalizado, uma única unidade. O Adriano implementou uma solução simples e inovadora. Criou um dispositivo que lia cartões de RFID, monitorava os momentos de início e fim de operação, bem como os momentos em que a máquina ligava e desligava, registrando tudo isto em informações digitais no cartão de RFID, que acompanhava a peça em cada estação. A máquina só entrava em marcha se o cartão fosse inserido e ali ficava armazenando os dados de produção. Algo relativamente simples, porém altamente eficiente, que resolveu um problema recorrente em processo de manufatura deste porte, valendo como referência a outras implementações semelhantes.

Se a automação não vai até a fazenda, a fazenda vem até a automação. Assim pensou Carlos Eduardo Gonçalves Peixoto, ao propor a automação do cultivo hidropônico em baixa escala. Ora, ter uma pequena horta em casa não é algo muito trabalhoso. Mas se você mora em um apartamento? Esta foi a pergunta que intrigou o Carlos, ao propor a automação de cultivo hidropônico, que pode ocorrer dentro de residências, em especial dentro de apartamentos. O sistema por ele desenvolvido monitora as variáveis pertinentes ao cultivo, como luminosidade, nível de água, entre outros, disponibilizando as informações via internet, por dispositivos IoT, podendo ser monitorados por aplicativo

remoto ao cultivo. É a automação na agroindústria, desde um simples plantio de hortaliças dentro de um apartamento.

E chegamos ao Giacomo Souza Tavares, sabido que seria o último TCC do curso Tecnólogo em Automação Industrial que eu orientaria, pois ele já é um dos últimos alunos remanescentes. E tinha que ser algo diferente. E foi diferente. Ao passo que na indústria há uma preocupação muito grande quando a manutenção das máquinas de manufatura e com os processos a que as peças são submetidas, o Giacomo percebeu a pouca atenção dada aos transportadores, vitais em um processo fabril, pois eles são os responsáveis por movimentar as peças, de máquina em máquina, definindo o fluxo produtivo. Ele realizou um estudo que visa uma estimativa de falha, que o transportador indique o comportamento dos componentes que o compõe, e aponte a tendência a falha, fazendo com que a intervenção para manutenção possa ser programada, de forma a não afetar a produção da empresa. Um transportador que diz quando vai falhar. Algo importante, já que a falha neste equipamento provoca a parada das máquinas que o alimentam e as máquinas que são alimentadas por ele. Uma proposta ousada e inovadora para área de manutenção, que carece de pesquisas e soluções. Está aqui uma delas.

Assim, a história chega ao fim. Um período de 7 anos, entre 2017 e 2023, ao qual orientei estes 20 trabalhos, estas 20 histórias. Sim, me envolvi com cada um destes trabalhos. Não teria como ser diferente. Não tem por que ser diferente. São histórias que ficam, são momentos únicos, que não se repetirão. Momentos que a vida nos permite viver. Até podemos fazer de novo, mas será diferente. Mas qual a vez que fizemos algo igual. Nos rebelamos a fazer o mesmo do mesmo. Queremos fazer o diferente, não só para deixarmos de ser iguais, mas para fazer A DIFERENÇA.

Houve momentos que tive raiva. Sim, muita raiva. O desejo que o aluno fizesse algo inesquecível era maior que do que toda pedagogia que aprendi. Era o momento de o aluno dar um show, momento que eu não podia estar junto. O palco era dele, eu só podia torcer. Já os tinha preparado, mas nunca é o suficiente, então tinha raiva, de cada deslize, de cada pequena falha. Falhas insignificantes, mas que para mim eram latentes, e tinha raiva disto. Pois queria, erroneamente, a perfeição deles.

Houve momentos que cobreí muito, que exigi muito, que fosse os melhores, que seus trabalhos fossem obras primas, que utilizassem o que havia de mais moderno em termos de tecnologias. E cobreí isto, as vezes esquecendo de que o mais importante não era só o resultado, mas estarem vivendo aquele momento de aprendizado real. Isto mexia com eles, isto mexia comigo, e por isto cobrava, e cobrava muito.

E tive muito orgulho dos meus orientandos!

Orgulho pelo trabalho que realizaram.

Orgulho a cada resposta que deram à banca avaliadora.

Orgulho pelos elogios que a banca proferiu a cada um dos orientandos.

Orgulho do quanto aprenderam e do quanto ainda querem aprender.

Orgulho por se tornarem Tecnólogos em Automação Industrial.

Orgulho por terem me escolhido para lhes orientar neste caminho, que agora quero contar a todos, através deste livro.

O curso Tecnólogo em Automação Industrial na Uergs se encerra como curso certificador, mas continua como base do curso de Engenharia de Controle e Automação, criado em 2019, que congrega os componentes curriculares do tecnólogo, e agrega outros mais, elevando ao patamar de engenharia, ao qual tive o prazer de participar de sua criação.

Mas isto é outra história, que um dia conto a vocês!

1**SUPERVISÃO INTERATIVA DE UMA PLANTA INDUSTRIAL DE PROCESSO CONTÍNUO**Lucas Lopes Paszinski

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo sintetiza o trabalho de conclusão de curso de Paszinski (2017), ao abordar o tema de supervisão interativa de plantas de manufatura industrial.

Na manufatura industrial, o processo contínuo é uma das alternativas para transformação de um produto, com diferencial de ocorrer de forma ininterrupta. O controle de um processo contínuo possui particularidades, que o torna mais complexo que os demais. Segundo Toledo, Truzzi e Ferro (1989), há uma indivisibilidade durante o processo contínuo, ou seja, após a inserção os insumos se tornam indistinguíveis entre si e o produto. Essa diferença decorre das sucessivas transformações físico-químicas que se desencadeiam após a entrada.

Por conta desta indivisibilidade do processo, existe um alto nível de integração entre todos os equipamentos envolvidos, o que torna interessante um controle centralizado de todo processo. O controle desse processo deve ser vigilante as oscilações, pois, por se tratar de reações químicas, são necessários parâmetros muito específicos e estáveis, por longos períodos, pois um erro pode levar a uma perda de produção em grande escala ou a transformação equivocada dos insumos.

Faz-se necessário sensoriar as variáveis de controle e manipular os dispositivos atuadores de forma contínua, seguindo valores desejáveis que são alterados conforme as receitas postas ao sistema. Não bastando ter um sistema sensoreado e controlado, este deve ser também monitorado continuamente. Esta supervisão é realizada pelo operador do sistema, que monitora em função do tempo cada variação ou estado das variáveis, importantes para o atingimento do produto, pois por maior que seja o controle, ainda existe margem para desvios e erros, os quais se fazem necessárias a intervenção humana, direta ou indireta (Natale, 2001).

Em processos contínuos, se faz necessária uma supervisão constante de processo, o que requer a atenção ininterrupta de um operador. Essa atenção fixa, somada às longas durações dos ensaios, acaba por aumentar os riscos de um erro, devido a fadiga do operador ou químico em questão.

Por demandar muitos cuidados, o processo acaba por diminuir a eficiência do químico, ou seja, faz com que ele não possa atender um número maior de processos, pois, acaba tendo de gastar tempo em máquinas, nas quais não existe necessidade de intervenção humana.

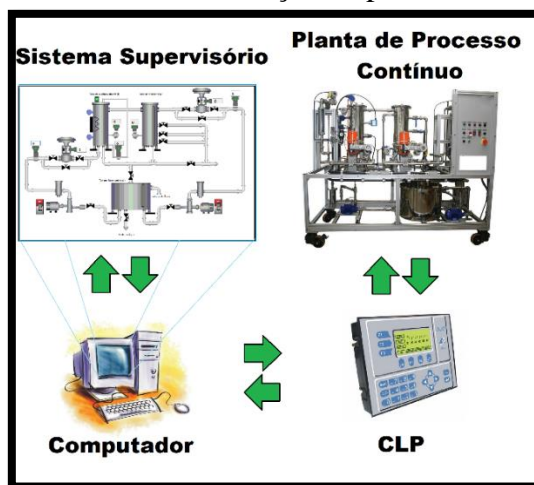
Outro fator que dificulta esse controle é que uma mesma planta pode executar diferentes produtos e seus parâmetros mudam com o tempo, logo as intervenções do operador devem ocorrer em momentos diferentes.

Fato que o mercado necessita de processos com grau de autonomia, que dispense a necessidade constante do analista químico monitorando o equipamento, principalmente nos processos contínuos, em que há necessidade de estabilidade por longos períodos.

Como hipótese desse projeto, indica que um sistema de processo contínuo gerenciado por CLP (Controlador Lógico Programável) e supervisionado por um sistema supervisório interativo, que possibilita ao analista químico não necessitar estar constantemente monitorando o processo, sendo ele instigado a interagir com a planta apenas quando sua presença for necessária.

O processo químico, controlado por CLP e monitorado por sistema supervisório, que interage com o usuário, elencado aqui como hipótese, pode ser observado na Figura 1.1.

Figura 1.1 – Hipótese definida como solução ao problema abordado neste estudo

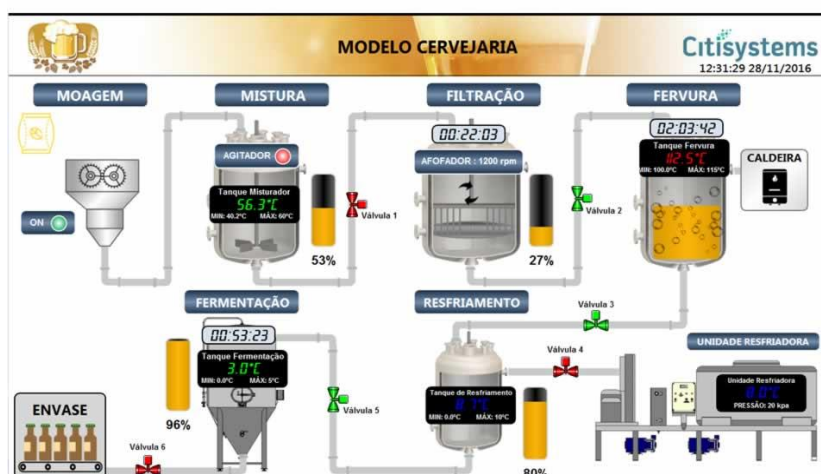


Fonte: Autor (2017).

Como objetivo principal, o projeto visa implementar um sistema supervisorio para uma planta de processo contínuo de cunho interativo, capaz de, após configurado, interagir com o operador avisando-o, quando necessário, que sua presença é requisitada. Assim oportunizando-se ao operador uma maior liberdade, permitindo que ele possa se ausentar com maior segurança. Essa ausência pode ser revertida também, em casos em que há várias plantas de processo, em maior produtividade, possibilitando atender a um maior número de equipamentos com maior segurança.

A principal tecnologia utilizada neste trabalho foi o conceito de sistema supervisorio SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*), como o exemplo da Figura 1.2. Esse sistema que consiste em monitoramento e, até mesmo, o controle de uma determinada planta.

Figura 1.2 - Tela do sistema supervisorio implementado de uma cervejaria



Fonte: City Systems (2017).

Outra funcionalidade a ser exaltada do sistema supervisorio é a de executar ações baseado nos parâmetros informados, fazendo que o usuário participe do processo somente quando houver necessidade de intervenção humana.

Para isso são usadas TAGs², que são todas as variáveis numéricas ou alfanuméricas envolvidas na aplicação, podendo executar funções computacionais e representar pontos de entrada e saída de dados do processo controlado, tais como, temperatura, vazão, nível,

² TAG é como é chamada uma variável dentro de um sistema supervisorio. Esta pode ser do tipo booleana, inteira, real, dentre outras.

entre outros (Araujo; Becker; Pereira, 2001). Com base nestas TAGs que os dados coletados são apresentados nas telas do supervisor, para quem o utilizar.

A apresentação destas TAGs deverá ocorrer da forma mais clara e acessível, revelando apenas as informações que ajudarão o operador a compreender o processo com o qual está lidando. Essa acessibilidade deve se estender aos alarmes gerados, ajudando o operador na tomada de decisão corretiva sempre que possível.

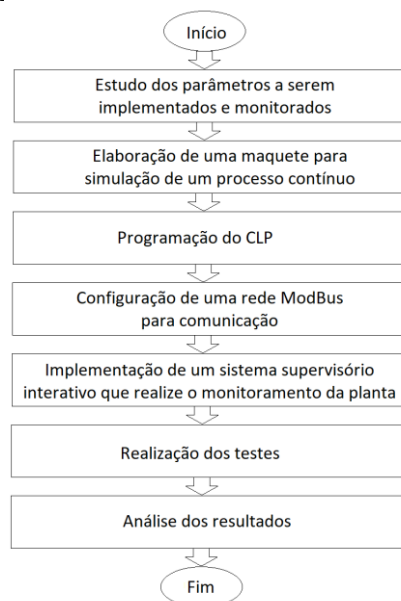
Os alarmes se dividem em 4 categorias, ou seja, quatro faixas de valores, sendo estas: altíssimo (*High-High*), alto (*High*), baixo (*Low*) e baixíssimo (*Low-Low*).

A funcionalidade de usar padrões pré-estabelecidos a serem seguidos, na execução de um produto, é conhecida como receita. Esses padrões podem ser criados e salvos, a fim de serem acessados posteriormente, facilitando processos produtivos de indústrias, em que uma máquina é usada para diversos propósitos. Algo típico em indústria de processos contínuos, pois uma mudança sutil dos parâmetros pode gerar um produto diferente do original.

2 METODOLOGIA

O fluxograma seguinte, Figura 1.3, ilustra os passos aos quais este projeto deve seguir, expandidos em tópicos mais abaixo e explicando como ocorreu a evolução da pesquisa.

Figura 1.3 - Diagrama da metodologia



Fonte: Autor (2017).

Como ponto de partida, foi realizado o estudo de como ocorria um processo contínuo, em especial os que realizam o aquecimento e mistura de reagentes, e quais seriam os dados necessários de captação para execução de controle e supervisão do projeto. Tendo como molde a planta didática de processo contínuo da empresa SMAR, a PD-3 onde deu-se a investigação de todos os sensores e atuadores desta planta didática.

Para comprovação da hipótese, foi realizada a implementação do controle por CLP em uma maquete, que simula uma planta de processo contínuo, seus sensores e atuadores. Para realizar esse controle é necessário desenvolver a comunicação entre os componentes e sensores, a fim de se obter as informações deles, e para tal fim é implementada uma rede *ModBus*.

Esta rede irá conectar o CLP ao sistema supervisório, que deverá ser capaz de interagir com o usuário quando o sistema fugir de suas curvas de controle, e capaz de agir de maneira independente nas demais ocasiões.

Depois que todos os parâmetros estiverem sendo monitorados corretamente pelo sistema supervisório, se dá início aos testes em que são realizadas as simulações de múltiplos cenários, a fim de verificar o comportamento da planta frente a estes.

Finalmente, são analisados os resultados, verificando se a planta em conjunto com o CLP e o sistema supervisório, reagiram de maneira coerente, frente às situações as quais foram submetidos. Desta forma será verificada a eficácia do que foi proposto e será um caminho interessante para resolução da problemática deste trabalho.

3 RESULTADOS E ANÁLISE

Inicialmente foi realizado o estudo de processos contínuos, parâmetros a serem implementados e monitorados, em uma planta de processo contínuo didática da empresa SMAR, no qual foi possível planejar qual seria a melhor maneira de executar a supervisão de um processo contínuo. Com isso, foi possível determinar quais seriam as variáveis de processo que deveriam ser simuladas através da maquete, determinando-se as entradas e saídas.

Já na escolha das variáveis para monitoramento, foi necessário realizar adaptações, pois o CLP utilizado possui apenas quatro entradas analógicas. E para execução plena dos sensores da planta seriam necessárias cinco entradas, portanto foi

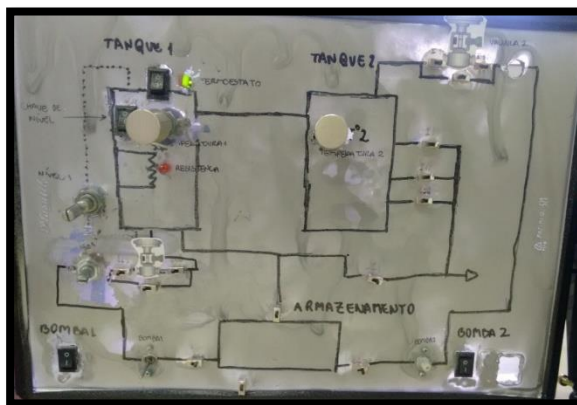
excluído o sensor que se acreditou que acarretaria a menor perda de processo, o sensor de vazão do segundo tanque.

Através do estudo da planta de processo contínuo foi possível obter as informações necessárias para avançar no presente trabalho. Pois, por meio da análise dos componentes e sua interação, foi possibilitado encontrar um caminho para replicar, de maneira que fosse interessante para a alcançar o principal objetivo do trabalho: um supervisor capaz de interagir com o químico quando necessário.

A necessidade de remover uma das variáveis de processo acarretou perdas na parte de controle. Mas dentro das perdas, foi escolhida a que seria menos relevante, pois o tanque de aquecimento é onde ocorre a maior parte das reações e remover qualquer variável deste tornaria o controle de aquecimento contínuo inviável.

Na elaboração de uma maquete para simulação de uma planta de processo contínuo, o primeiro passo para confecção da maquete para os futuros testes e simulações, foi a escolha de um leiaute, almejando uma proposta que facilitasse a visualização. Portanto, foi adotada a mesma disposição que viria a ser adotada no sistema supervisor, conforme a Figura 1.4.

Figura 1.4 - Maquete para simulação da planta em estudo



Fonte: Autor (2017).

A confecção da maquete ocorreu com a simulação das entradas realizadas por componentes elétricos. O acionamento das bombas, sensor termostático e sensor capacitivo de chave de nível, foram simulados por chaves interruptoras de dois estágios. As válvulas de fluxo da planta foram trocadas por chaves interruptoras de 3 estágios. Estas foram escolhidas pelo seu tamanho diminuto, que facilitou na disposição dos componentes de maneira a manter o visual esperado. Os valores de medição de nível,

vazão e temperaturas do tanque de aquecimento e mistura, foram replicados através de potenciômetros, assim possibilitando variá-los e testar a resposta do supervisor e CLP até mesmo aos casos mais esdrúxulos.

Foi usada a mesma fonte de alimentação do CLP evitando problemas de diferença de tensão. Para as chaves interruptoras foi aplicada a tensão integral de 24 volts, sendo 24V o sinal de ligado, e sua interrupção, 0V, considerado desligado. Para a entrada analógica e saídas do CLP foi realizada a conversão da tensão de 24 volts para 12 volts, através de circuito integrado regulador de tensão 7812. Foram adicionados resistores de segurança para os potenciômetros, evitando que chegassem mais de 10 volts para as entradas analógicas, pois estas realizam a leitura de 0 a 10 volts. E para as saídas do CLP, destinou-se os 12 volts de alimentação, evitando problemas de alimentação inferior a mínima necessária que é 10 volts, obtendo assim uma margem de segurança para o funcionamento dos transistores de saída.

Devido ao número de fios e sua montagem diretamente nos componentes, ocorreram problemas de mau contato durante a montagem. Por este motivo, foi substituída a alimentação direta dos fios pela alimentação através de uma placa de circuito impresso, acabando com os problemas de mau contato e facilitando a visualização das conexões.

A elaboração da maquete trouxe inúmeros benefícios, principalmente na rapidez com que se pode testar o sistema e como ele reage às mudanças. Inclusive, nela foi possível testar os casos que seriam inviáveis de testar numa planta real. Por meio da maquete foi possível testar a eficácia real do sistema supervisor interativo de maneira integral. Sendo assim, ela serviu em sua plenitude para o objetivo ao qual foi confeccionada.

No entanto, a maquete não possui tanques, bombas e válvulas reais. A acurácia de qualquer tentativa de controle foi dificultada pela inexistência de uma planta com parâmetros definidos. Entretanto, mesmo que os parâmetros estivessem definidos, ainda assim não seria possível testar sua precisão, pois não é viável a simulação de distúrbios.

A realização da troca da alimentação direta dos componentes, por uma alimentação, passando por uma placa de circuito impresso, tornou mais simples de visualizar as ligações de cada componente e eliminou as perdas por mau contato. Além disso a diminuição no número de fios tornou melhor a organização da maquete.

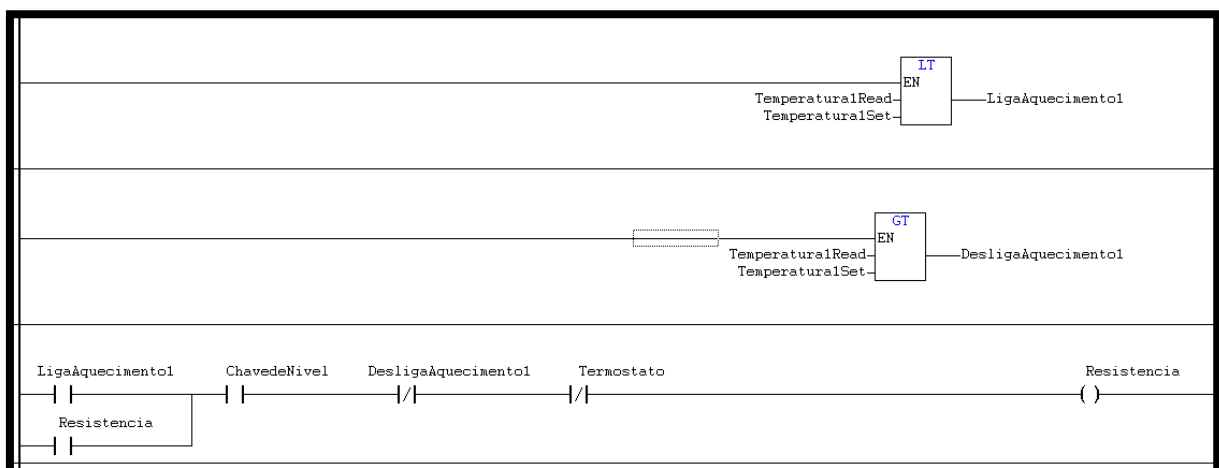
A escolha de um leiaute semelhante ao sistema supervisor facilitou a visualização dos processos, pois há possibilidade de comparar visualmente a maquete e o

sistema de supervisão. Com isso se torna simples de visualizar qual dos componentes corresponde ao processo que se quer alterar no supervisório.

Na programação do controlador lógico programável, após a definição das entradas e saídas do processo, é necessária programação do CLP para tornar o processo automatizado. No entanto, a programação do mesmo deve ser realizada já pensando em como vai ocorrer a conexão com o sistema supervisório.

Antes da implementação da lógica, foi realizada a conexão de todos os componentes da maquete com o CLP, a fim de verificar se funcionavam conforme esperado. Só então se deu sequência à programação do CLP. Foi escolhida a programação na linguagem *Ladder*, como na Figura 1.5, pela simplicidade e funcionalidade da linguagem, que permite que demais usuários possam entender e alterar o programa futuramente, caso haja necessidade.

Figura 1.5 - Programa de CLP em linguagem *Ladder*



Fonte: Autor (2017).

Durante a programação, foram utilizados os princípios da linguagem estruturada, para facilitar o entendimento do programa. Começando pela esquerda, mantém-se como primeiro contato o de acionamento seguido pelo intertravamento, condicionamento, autoretenção e desacionamento, caso necessário. O programa e as variáveis foram comentados para facilitar o entendimento e aumentar a organização.

Também, para possibilitar uma visualização de parâmetros de maneira simplificada, foi implementada uma IHM (Interface Humano Máquina), simples, pois o CLP DUO 350 já vem com esta funcionalidade integrada. Devido ao tamanho da tela, a quantidade de dados que pode se colocar é limitada, mas a possibilidade de se trabalhar

com inúmeras telas supre essa necessidade. Optou-se por uma IHM simplificada, como a da Figura 1.6, pois funções do controle estão associadas ao sistema supervisor.

Figura 1.6 - Interface Humano Máquina utilizada no estudo



Fonte: Autor (2017).

Durante esta etapa é onde se pode ver a alteração mais significativa no processo de automação, onde acionamentos deixam de ser feitos manualmente e passam a ocorrer como eventos encadeados. A utilização de uma linguagem *Ladder* facilitou o entendimento da operação e tornou dinâmicos os eventuais ajustes. Também por se tratar de uma linguagem simples que busca aproximar a programação do profissional electricista. Mas, por se tratar de processo contínuo, onde os acontecimentos não estão necessariamente ligados ao estado anterior, não se pode usar a linguagem estruturada Grafset, convertida para *Ladder*. Durante a programação as variáveis foram todas comentadas e nomeadas de modo a tornar o mais intuitivo possível o entendimento do programa.

A implementação da IHM facilitou num primeiro momento a visualização dos parâmetros da maquete, enquanto ela ainda não estava conectada ao sistema supervisor. No entanto, pela simplicidade da mesma não foi possível passar uma noção otimizada do que é cada parâmetro ali descrito, o que para usuários sem conhecimento prévio, pode gerar dúvidas. Contudo, a função mais notável da IHM surgiu na configuração da rede MODBUS, entre o Sistema supervisor e o CLP, pois foi através dela que se certificou que as informações que eram enviadas pelo mestre, realmente encontravam seu destino no escravo, na posição devida de memória.

Quanto a configuração de uma rede de comunicação modbus entre o CLP e o sistema supervisor. É necessário realizar a comunicação com o sistema supervisor que está sendo executado em um computador. O CLP Duo da Altus se comunica em

protocolo *ModBus* RTU (INDIAMART, 2017) e o meio físico RS-232, portanto é necessário convertê-lo para serial, via USB pela porta serial COM1. Também é necessário sincronizar os *Baud Rates*, neste caso 115.200bps, e determinar *Stop Bits*, *Data Bits*, *Parity*, se é *singed* ou *unsinged* e se existe *Swap*. Estas informações devem ser declaradas igualmente, não somente no CLP, mas também no Sistema Supervisório, através de seu canal serial.

No CLP sai um cabo de rede, que é adaptado para uma porta serial DB9. Esta é conectada na porta DB9 do adaptador que converte o sinal do CLP em um sinal serial, via USB para o computador.

Com os dados do CLP chegando no computador, é preciso configurar o sistema supervisório para comunicar-se no protocolo *ModBus*. O sistema supervisório Indusoft é configurado como Mestre *Modbus* e irá interagir com o Escravo nº1, o CLP.

Dentro do CLP, cada uma das variáveis recebe um endereço e é através deste que será realizado o vínculo do endereço do CLP com as TAGs do sistema supervisório, conforme a Figura 1.7.

Figura 1.7 - Definição dos endereços ModBus, dentro do sistema supervisório

Nome da Tag	Estação	Endereço I/O	Ação	Scan
Filtro de Texto	Filtro de T	Filtro de Texto	(Todos) ▼	(Todos) ▼
TermostatoOK	1	0X:4	Ler+Escrev... ▼	Sempre ▼
TermoestatoSuperAqu...	1	0X:5	Ler+Escrev... ▼	Sempre ▼
Resistencia	1	0X:6	Ler+Escrev... ▼	Sempre ▼
SetAberturaouVazao	1	0X:7	Ler+Escrev... ▼	Sempre ▼
ControleporTemperatura	1	0X:8	Ler+Escrev... ▼	Sempre ▼
ChaveBomba1	1	1X:1	Ler+Escrev... ▼	Sempre ▼
Val3	1	1X:17	Ler+Escrev... ▼	Sempre ▼
Val4	1	1X:18	Ler+Escrev... ▼	Sempre ▼
Val6	1	1X:19	Ler+Escrev... ▼	Sempre ▼
ChaveBomba2	1	1X:2	Ler+Escrev... ▼	Sempre ▼
Val7	1	1X:20	Ler+Escrev... ▼	Sempre ▼
Val8	1	1X:21	Ler+Escrev... ▼	Sempre ▼
Val9	1	1X:22	Ler+Escrev... ▼	Sempre ▼
Val10	1	1X:23	Ler+Escrev... ▼	Sempre ▼
Val11	1	1X:24	Ler+Escrev... ▼	Sempre ▼
Termoestato	1	1X:25	Ler+Escrev... ▼	Sempre ▼
ChavedeNivel	1	1X:3	Ler+Escrev... ▼	Sempre ▼
Val1	1	1X:4	Ler+Escrev... ▼	Sempre ▼
Val5	1	1X:5	Ler+Escrev... ▼	Sempre ▼
Val14	1	1X:6	Ler+Escrev... ▼	Sempre ▼
Val13	1	1X:7	Ler+Escrev... ▼	Sempre ▼
Val12	1	1X:8	Ler+Escrev... ▼	Sempre ▼
Val2	1	1X:9	Ler+Escrev... ▼	Sempre ▼
Temperatura1	1	4X:1	Ler+Escrev... ▼	Sempre ▼
Temperatura2Set	1	4X:11	Ler+Escrev... ▼	Sempre ▼
NivelSet	1	4X:13	Ler+Escrev... ▼	Sempre ▼
AberturaValvula1Set	1	4X:15	Ler+Escrev... ▼	Sempre ▼
AberturaValvula1Sup	1	4X:17	Ler+Escrev... ▼	Sempre ▼
AberturaValvula2Sup	1	4X:19	Ler+Escrev... ▼	Sempre ▼
AberturaValvula2Set	1	4X:20	Ler+Escrev... ▼	Sempre ▼
VazãoSet	1	4X:21	Ler+Escrev... ▼	Sempre ▼
Temperatura2	1	4X:3	Ler+Escrev... ▼	Sempre ▼
Vazão1	1	4X:5	Ler+Escrev... ▼	Sempre ▼
Nivel1	1	4X:7	Ler+Escrev... ▼	Sempre ▼
Temperatura1Set	1	4X:9	Ler+Escrev... ▼	Sempre ▼
			Ler+Escrev... ▼	Sempre ▼

Fonte: Autor (2017).

Inicialmente se endereçou as entradas digitais do CLP, no entanto o DUO 350 possui suas particularidades, pois as entradas são divididas em duas sequências de 9 bits, ao invés do usual 8 bits, endereçadas dentro do CLP de %IX0.0 até %IX0.8 e de %IX1.0 até %IX1.8. Dentro do supervisório estes endereços são formatados como o seguinte, 1x:nº para as portas de entrada digitais do CLP. As entradas digitais são endereçadas de 1x:1, que é o endereço %IX0.0 do CLP e se estende até o endereço 1x:9, que corresponde %IX0.8 para o CLP.

No entanto os endereços seguintes, mais precisamente de 1x:10 até 1x:16, não possuem nenhum valor ou pelo menos não correspondem as entradas seguintes do CLP. Isso acontece, pois existem as memórias %IX0.9 até %IX0.15, mas não são saídas físicas no CLP DUO 350. Somente no endereço 1x:17 retorna-se sequência de entradas digitais do CLP, sendo este correspondente a %IX1.0 e segue a sequência até 1x:25, correspondente a %IX1.8, e então ocorre um novo espaço de memória que é destinada às memórias que não possuem entradas efetivas, tendo que se pular 8 endereços no supervisor até encontrar os novos endereços válidos de entrada.

Sabendo da peculiaridade nos endereços do DUO, quando foi realizada a comunicação dos valores analógicos, tanto de entrada quanto de saída, se optou por movê-los para um *holding register*, pois desta forma se tem acesso ao endereço de maneira sequencial e contínua. Os valores analógicos foram transferidos, mas ainda assim o supervisor começa a contagem de *holding register* em 4x:1, que corresponde no CLP ao endereço %MW0. Apesar da variável ter sido declarada como tipo *WORD*, ela não ocupará os dois próximos bytes, pois o *holding register* deste CLP é tal que cada posição endereçável pelo supervisor é um *holding register* de 2 bytes. Não foi necessário nenhum tipo de identificação diferente no supervisor, que captou o dado tipo *WORD* completo. Assim o próximo endereço é %MW1 que corresponde a 4x:2.

Dentro do CLP é possível endereçar as memórias *holding register* por bits, mas não será possível endereçar somente o bit dentro do supervisor. Então caso se trate de uma variável booleana, deve endereçá-la no CLP como %MXn°.15 e no supervisor no endereço 4xn°+1. Desta forma, se terá o bit final, que poderá ser usado como valor booleano no sistema supervisor e CLP.

Para as saídas digitais foram identificadas no supervisor como 0x:1, que corresponde ao endereço %QX0.0, havendo as mesmas peculiaridades que nas entradas digitais, ou seja, os valores se estendem até %QX0.15, apesar das entradas efetivas irem até %QX0.8.

A comunicação realizada entre o CLP e o supervisor não acontece de forma intuitiva, sendo necessário, muitas vezes, desvendar por métodos empíricos a forma com que interagem. Talvez pela falta de material indicativo de como proceder ou pela padronização diferente de endereçamento de memória de ambos, criou-se uma lacuna informativa, que se traduz em poucos ou nenhum material que os relacione e explique como sua comunicação ocorre.

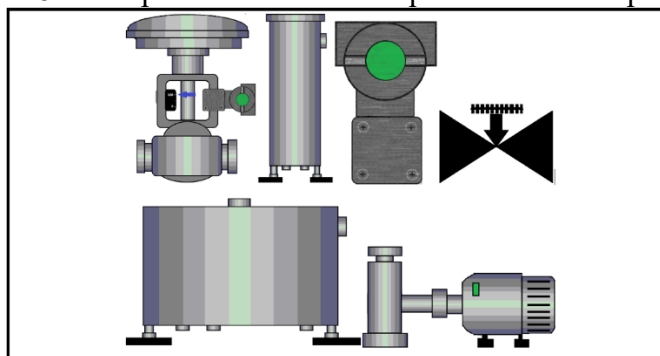
Apesar da falta de padronização foi possível estabelecer uma comunicação de dados via MODBUS por meio físico RS-232, mesmo o sinal sendo convertido, e isso ocorreu sem nenhum prejuízo aos dados.

A escolha de trabalhar com o sistema supervisorio mestre e CLP escravo também se mostrou útil, pois assim pode se configurar o CLP através do supervisorio. Mas se ocorrer um problema na comunicação após sua configuração, o CLP é capaz de operar de maneira independente, contudo a funções de supervisão ficam comprometidas.

Na implementação de um sistema supervisorio interativo para monitoramento da planta, com a comunicação entre o sistema supervisorio Indusoft e CLP DUO 350 estabelecida se inicia a parte de programação das telas do supervisorio. Para tal são necessárias imagens que se comuniquem de maneira visual, da melhor forma possível com o usuário. Por isso, baseado nas telas do supervisorio da planta didática, os componentes e sua disposição na tela, foram elaboradas imagens que buscassem trazer de maneira clara e instrutiva.

Inicialmente foi necessário fabricar as imagens por meio de *softwares* de edição e criação de imagem. Todos os componentes visuais do supervisorio, com exceção dos canos e conexões, foram editados para este projeto. Alguns exemplos podem ser vistos na Figura 1.8.

Figura 1.8 - Componentes elaborados para a sistema supervisorio



Fonte: Autor (2017).

Depois de concluídas as imagens, elas foram dispostas em uma tela de supervisorio e foram adicionadas animações para facilitar o entendimento do que está sendo supervisionado. *Displays* mostram os dados fornecidos pela maquete.

Os dados recebidos são associados a uma TAG, que podem ser associadas a objetos, animações, sobreposições, receitas e alarmes, conforme convir ao programador. Com esse tipo de associações a TAGs é possível mostrar no supervisorio não somente o

valor do nível do tanque, mas também visualmente o tanque enchendo conforme o nível aumenta.

Outra função implementada foi a de alarmes, que permite que o usuário configure os limites de uma variável e então, caso esteja fora dos limites inferiores e superiores, um alarme é gerado, e deve ser reconhecido pelo operador. A dificuldade dos alarmes é que necessita de um quadro exclusivo para eles, como pode ser visto na Figura 1.9, tampouco é viável colocá-lo em todas as telas, pois ele normalmente ocupa um espaço considerável, ou seja, caso você esteja fora da tela de alarmes eles podem passar despercebidos o que não é interessante, quando se busca que a interação da máquina com operador ocorra da maneira mais rápida e direta possível.

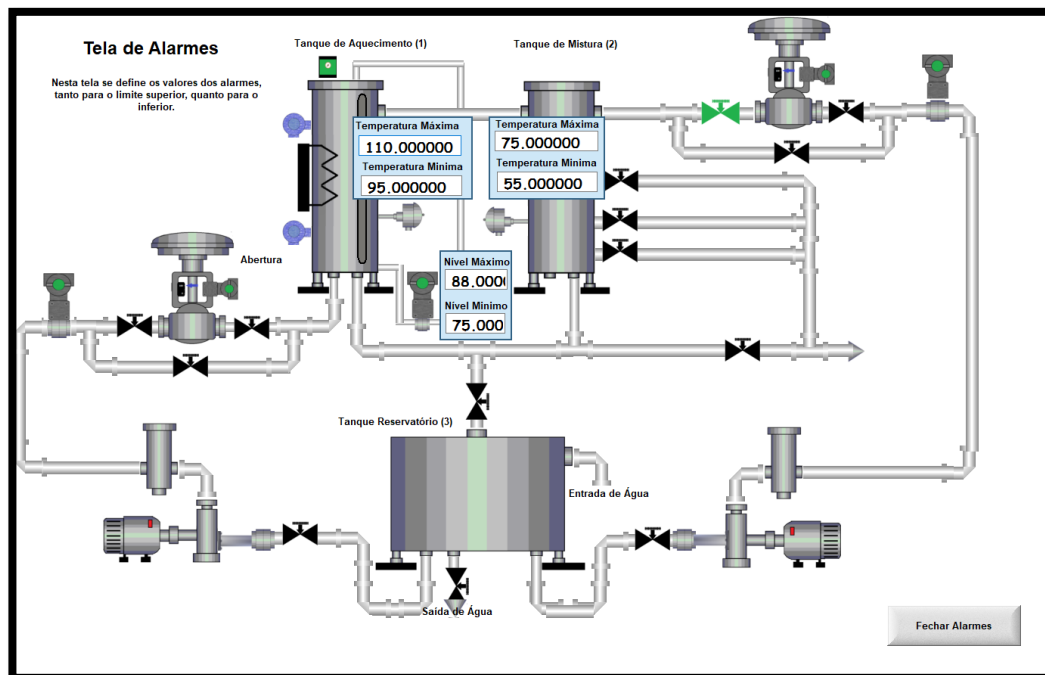
Figura 1.9 - Quadro de alarmes

Hora de ativação	Mensagem	Tempo de evento
11/19/2017 17:46:18	Temperatura do Tanque 1 exedeu valor mínimo programado. Necessita-se do Operador	11/19/2017 18:03:24
11/19/2017 17:46:18	Temperatura do Tanque 2 exedeu valor máximo programado. Necessita-se do Operador	11/19/2017 17:46:18
11/19/2017 17:46:18	Nível do Tanque 1 exedeu valor mínimo programado. Necessita-se do Operador	11/19/2017 18:03:29

Fechar Alarmes

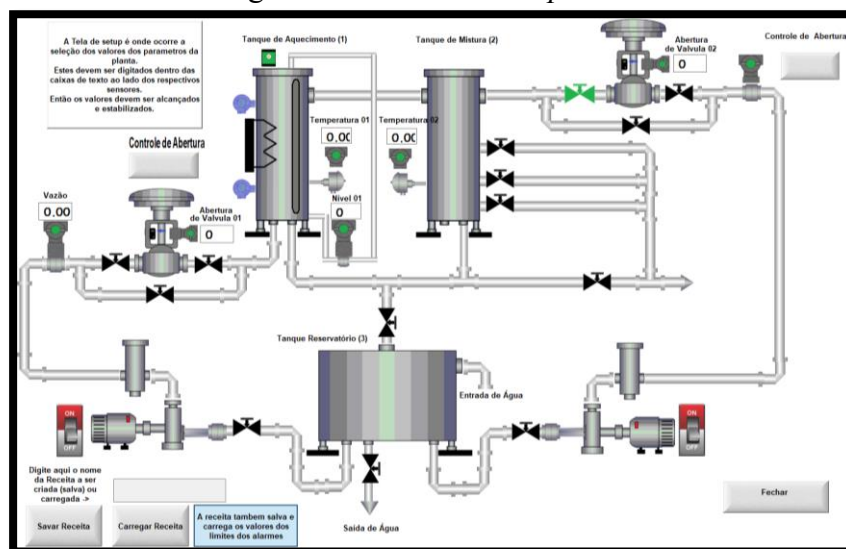
Fonte: Autor (2017).

Um outro fator complicador é que os valores definidos para os alarmes são pré-fixados e definidos no momento de programação do *software*. Esses não podem ser associados a uma TAG. Para conseguir alterá-los dinamicamente deve se fazer uso de outros métodos. Para conseguir alterar os valores de alarme de uma TAG de maneira dinâmica e completamente dentro do supervisório, a TAG, deve ser declarada como “TAGExemplo->HiHiLimit”. Esse é um parâmetro interno da TAG que abre a possibilidade de ser associado a um objeto, permitindo que usuário dentro da tela de supervisório decida o valor superior e inferior dos alarmes para cada operação, como pode ser visto na Figura 1.10. Valores que quando desrespeitados geram um alarme, que deve ser identificado pelo operador, mostrando que está ciente do ocorrido.

Figura 1.10 - Tela de *Setup* de Alarmes

Fonte: Autor (2017).

Outra tela importante é a tela de *setup*, Figura 1.11, em que é realizada a programação dos valores desejados na planta. Existem algumas escolhas a serem feitas, como se os controles de vazão serão diretos, dando o a porcentagem de abertura, ou se serão controlados automaticamente por outra variável.

Figura 1.11 - Tela de *Setup*

Fonte: Autor (2017).

Depois de realizados todos os *setups*, caso isso seja uma receita a ser seguida diversas vezes, é possível salvar os parâmetros em uma receita, e carregá-los depois. A receita também irá salvar os valores escolhidos para os alarmes.

Na lateral, o supervisor possui uma barra de navegação em que é possível acessar as demais telas. Na barra lateral, caso sejam acessadas as opções de gráfico de tendência, é possível visualizar como se comportam as variáveis ao longo do tempo, facilitando a percepção de uma ineficiência de ação do controle e a visualização de parâmetros, que burlaram as linhas preestabelecidas.

O primeiro impacto da implementação do supervisor é o visual, pois se passa a ver cada componente em seu lugar, o que facilita o entendimento geral do processo. O segundo impacto é a facilidade de aquisição de dados, que passa a ser centralizada em um ponto, ou seja, abre a possibilidade de ser realizado o controle simultâneo de vários processos, principalmente, quando se leva em conta que o sistema pode identificar quando o operador é necessário e avisá-lo por alarmes e caixas de mensagens, exibindo avisos na tela, indicando o ocorrido e, quando possível, o que deve ser feito.

A viabilidade de escolher o valor de alarme para cada caso dentro do próprio supervisor facilita alteração de maneira dinâmica, algo que pode ser interessante para quem realiza processos com diversos reagentes, pois pode alterar esses parâmetros sem mexer em configurações dentro do supervisor.

Mas, a geração de alarmes em por si só, não apresentou um resultado tão interessante, pois ela ainda dependia de o operador verificá-la e, caso este não acessasse a tela de alarmes, o erro passaria despercebido.

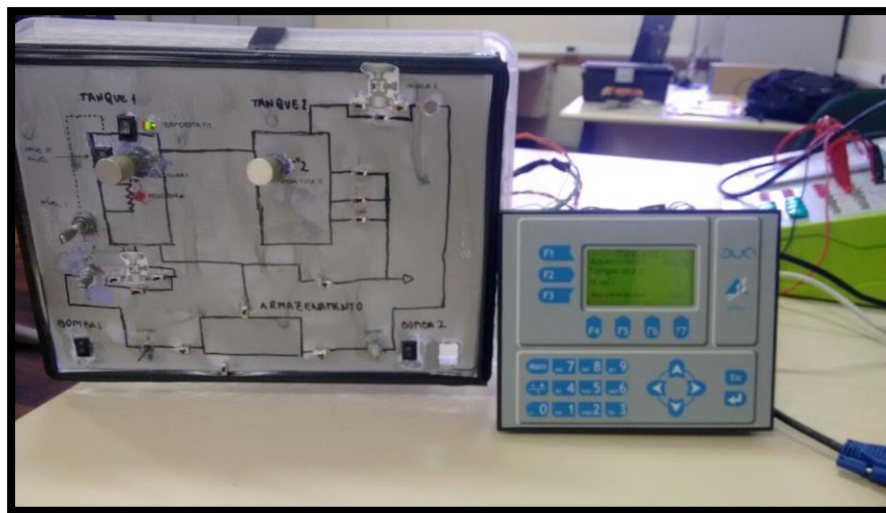
Portanto, a implementação das caixas de mensagens, que aparecem na medida que os alarmes são gerados, foi a solução encontrada que melhor satisfaz a situação, não poluindo a tela inicial com o quadro de alarmes. O químico é avisado com um *pop up*, que aparece quando o erro é detectado, independente de qual tela o usuário esteja acessando. Assim foi possível criar a interatividade com operador, que é informado dos fatos importantes e que precisam de sua atenção sem ter de acessar a tela de alarmes. Apesar desta última continuar funcional, passa a ser secundária, pois não interage com o usuário diretamente.

No que diz respeito aos processos recorrentes, a geração de receitas se mostrou uma ótima ferramenta, capaz de facilitar o processo de *setup* da máquina, pois guarda os valores, que podem ser carregados quando necessários. Isso pode vir a ser interessante

para quem não possui conhecimentos técnicos dos parâmetros, pois ele pode realizar a inicialização da planta através da receita padrão, cujos parâmetros já estão definidos.

Para realização dos testes finais, com todas as partes implementadas e integradas, tem-se o ambiente para testar e aprimorar a ferramenta, a montagem física pode ser vista na Figura 1.12.

Figura 1.12 – Montagem da maquete com CLP



Fonte: Autor (2017).

O primeiro teste foi a atribuição dos valores de *setup*, ou seja, os valores cuja planta deveria alcançar e manter. Essas atribuições ocorrem nos valores de nível, temperatura e abertura de válvula proporcional, no tanque de aquecimento e temperatura e abertura de válvula, no tanque de mistura. Os valores foram recebidos pelo CLP, que com os valores desejados, pode começar a agir para alcançá-los.

O programa permite acionamento e desacionamento das bombas hidráulicas e ainda desativa as mesmas, caso elas estejam operando com fluxo interrompido e as válvulas estiverem fechadas, de forma a impedir que a água chegue nos tanques.

Para que ocorra o aquecimento no tanque é necessário que a temperatura desejada seja menor que a lida pelo sensor de temperatura. Também precisa haver uma quantidade de fluido no tanque suficiente para realizar o acionamento da chave de nível, que é capacitiva, portanto, o fluido precisa ser condutor. O terceiro e último fator é que o sensor termostático não pode estar acionado, pois isso indica que a temperatura é muito mais alta que deveria. O acionamento da resistência só ocorreu quando estes três fatores se comprovaram, ou seja, acontecendo somente quando pretendido. Esta redundância pode vir a evitar danos ao equipamento físico, evitando que aqueça mais que o devido e que

aqueça sem ter fluido para dissipar o calor. Com a resistência ligada ocorre o aquecimento, e quando a temperatura alcançar o valor estipulado a resistência é desligada.

Para a variável de nível se aplica a mesma lógica, mas sem a mesma redundância. Caso o controle de abertura da válvula proporcional seja indicado como controlado em função do nível, é realizado um controle proporcional, verificando a diferença entre o *setpoint* do nível e o nível atual, essa diferença, ou erro, é multiplicado pelo fator proporcional, e então em função deste erro é feita a abertura da válvula. Conforme o erro diminui, a abertura da válvula diminui, até fechar. No entanto se for escolhido o controle de abertura de válvula, se seleciona o percentual de abertura da válvula e o tanque se enche até que o nível almejado seja cumprido. Em ambos os casos, no momento que o nível desejado e o real são iguais, a abertura de válvula passa a ser zero, impedindo completamente a passagem de fluido.

No tanque de mistura, não há aquecimento direto. Ele ocorre pela entrada de fluido aquecido do primeiro tanque. Sendo assim, o sensor de temperatura acaba servindo para controlar a taxa de abertura da válvula, assim os fluidos são misturados até alcançarem a temperatura ideal. Outra opção é o controle da abertura direta da válvula, mas esse tanque não possui sensoriamento de nível, e sua desativação deve ser realizada pelo operador, o que oferece riscos de erro humano.

Em seguida, para monitorar a eficiência do controle, e evitar que ocorram perdas por oscilações significativas no mensurando, pode-se e recomenda-se a configuração dos valores de alarme, superiores e inferiores, que depois de aferidos, detectam as variações fora de seus respectivos limites, desde as mais abruptas as mais sutis. O único problema encontrado foi a taxa de transmissão entre CLP e supervisor, neste caso, por se tratar de uma maquete, podem ser simuladas alterações abruptas, que normalizam também abruptamente. Caso a normalização ocorra mais rápido que o supervisor possa identificar é possível perceber que o alarme não é gerado. Mesmo assim, ao ser implementado tal ocorrido, seria altamente improvável, pois a variação em um sistema real ocorre de maneira mais lenta, principalmente quando se trata de sistemas térmicos e enchimentos de tanque, que são sistemas de primeira ordem e com uma curva de controle bastante estável e previsível.

Outra função adicionada foi a de avisos por meio de caixas de mensagens, que aparecem à medida que possíveis erros são detectados. Estas mensagens, além de indicar que há um possível erro, buscam sinalizar o caminho de resolução dele. Por fim, as

mensagens ainda aparecem caso as condições de alarme sejam cumpridas, fazendo com que o alarme não tenha como passar despercebido.

Analisando o sistema final, já funcional e integrado, se pode verificar que as funcionalidades propostas foram alcançadas. O sistema é capaz de realizar o monitoramento da planta e predefinição dos valores desejados, os quais a planta irá tentar alcançar e estabilizar.

Outro resultado interessante foi condicionar a abertura de válvula baseado em outro parâmetro, assim não há necessidade de controlá-la diretamente, o que traz mais autonomia ao processo, que é justamente o que se busca com a implementação do CLP e de um sistema supervisório.

A interação alcançada satisfaz o que foi proposto, interagindo com usuário quando necessário, não tomando mais tempo dele, que passa a poder dedicar-se a outras tarefas ou atender a vários processos simultaneamente, pois não necessita mais checar parâmetros manualmente e ainda assim pode ter acesso a um histórico detalhado, caso deseje.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante o desenvolvimento, buscou-se implementar um sistema supervisório que fosse capaz de monitorar e comandar um CLP, interagindo, quando necessário, com o usuário, a fim de notificar um erro, ou um provável erro e, se possível, sugerir um caminho para resolução.

De fato, foi possível desenvolver tal sistema que se comunica com um CLP, através de um protocolo *Modbus* RTU. Este com capacidade de identificar erros e informar ao operador. Assim o usuário não precisa checar os valores constantemente e tem sua atenção requisitada em momentos chave.

A maior diferença entre o projeto idealizado e o executado, foi a limitação de entradas do CLP, que não permitiu um sensoriamento mais amplo da planta, como sensor de vazão nos dutos, que levam ao tanque de mistura e sensoriamento de nível para todos os tanques, o que resultaria no desenvolvimento de um sistema mais preciso.

Uma das principais dificuldades encontradas durante a execução do projeto foi a comunicação via *Modbus*, entre o sistema supervisório Indusoft e CLP Duo 350. Isso ocorre pelas diferenças de endereçamentos e particularidades dos endereços de memória

do CLP. Estas dificuldades e as soluções encontradas foram detalhadas na seção de resultados e busca servir de suporte para futuros trabalhos, que decidirem realizar esta mesma comunicação.

As funcionalidades previstas foram implementadas e se mostraram ferramentas úteis, que podem vir a ser interessantes ao analista químico, apesar de não ser possível determinar o grau de utilidade. Foram desenvolvidas pensando em facilitar a tarefa que executam e permitir maior flexibilidade e autonomia para eles.

O fator mais determinante nos experimentos foi a impossibilidade de testes em uma planta real, em que poderia ser desenvolvido um controle real para a planta. Além disso, seria possível vivenciar as necessidades reais do químico, desenvolvendo uma solução ainda mais pontual.

Mas, comparado aos sistemas químicos em pequena escala, normalmente usados para experimentos, ou até mesmo em grande escala, em que o sistema supervisorio é um sistema passivo, este método agrega a vantagem da adição do elemento interativo, que são exibidos na tela, indicando um evento potencialmente indesejado e requisitando a atenção do operador.

Infelizmente, ainda fica necessária a presença física do operador nas proximidades da planta, em locais que o sistema supervisorio esteja instalado e sendo executado. Uma possibilidade de melhoria futura seria a integração com um sistema *mobile*, podendo proporcionar um monitoramento e controle remoto de operações em uma interface customizável, gerando notificações em casos de eventuais problemas que necessitem de intervenção, direta ou indireta do operador.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALTUS. **CLP Altus DUO**. 2017. Disponível em: <http://www.altus.com.br>. Acesso em: 25 nov. 2017.

ARAUJO, Jair Jonko; BECKER, Leandro Buss; PEREIRA, Carlos Eduardo. **Interface de Comunicação entre Ambiente de Modelagem Orientado a Objetos e Sistemas Supervisórios**. Porto Alegre: [s.n.], 2001. Disponível em: <http://fei.edu.br/sbai/SBAI2001/vsbai/artigos/1082.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2017.

BORGES, F. H.; DALCOL, P. R. T. Indústria de Processo: comparações e caracterizações. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO,

22., 2002, Curitiba. **Anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. Curitiba: Abepro, 2002. p. 1 - 9. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2002_TR12_0657.pdf. Acesso em: 01 dez. 2017.

INDIAMART. **Esquema de Comunicação CLP com uso de Protocolo Modbus**. 2017. Disponível em: <https://www.indiamart.com/neosis-academy/services.html>. Acesso em: 25 nov. 2017.

NATALE, F. **Automação industrial**. 3. ed. São Paulo: Érica, 2001. 256 p.

PASZINSKI, Lucas Lopes. **Supervisão interativa de uma planta industrial de processo contínuo**. 2017. 55 f. Monografia (Graduação) - Curso de Tecnólogo em Automação Industrial, Universidade Estadual do Rio Grande do Sul - Uergs, Porto Alegre, 2017. Disponível em: <https://repositorio.uergs.edu.br/xmlui/handle/123456789/2398>. Acesso em: 30 jun. 2023.

PENG, Dao-gang *et al.* Design and Realization of Modbus Protocol Based on Embedded Linux System. In: **2008 International Conference on Embedded Software and Systems Symposia**, [s.l.: s.n.], 2008. p.275-280, Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/document/4627171/>. Acesso em: 01 dez. 2017.

TOLEDO, José Carlos de; FERRO, José Roberto; TRUZZI, Oswaldo Mário Serra. Indústrias de processo contínuo: novos rumos para a organização do trabalho. **Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, v. 26, n. 1, p.103-105, mar. 1986. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-75901986000100011. Acesso em: 01 dez. 2017.

2

APRIMORAMENTO DA INTERAÇÃO HUMANO-MÁQUINA EM PRENSAS HIDRÁULICAS PARA RECICLAGEM

Guilherme Fernando Malinski Nery

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo sintetiza o trabalho de conclusão de curso de Nery (2017), ao abordar o tema de interação humano-máquina em prensas hidráulicas, para compactação de resíduos.

A reciclagem, além de ser de extrema importância para o meio ambiente, também é fundamental para a economia. Segundo dados do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), cerca de 1,4 milhão de brasileiros sobrevivem graças a reciclagem (Lisboa, 2013). Porém, estima-se que apenas 27% da fração reciclável do lixo é efetivamente recuperada, ou seja, o setor ainda possui potencial de crescimento (Cempre, 2013). O Brasil contém altos índices na reciclagem de diversos resíduos, sendo líder mundial na reciclagem de latas de alumínio, por exemplo, reciclando cerca de 98% do volume produzido (Abralatas,2016). Outro importante bem no setor da reciclagem são as garrafas PET, com volume reciclado superando 250 mil toneladas por ano (ABIPET, 2016).

Para que seja possível a reciclagem de todo este volume, são necessárias diversas etapas, sendo o setor que realiza a prensagem do material em fardos um dos mais importantes, pois facilita o transporte dos materiais a serem reciclados dos centros urbanos até as indústrias recicladoras. As prensas hidráulicas são o coração desta etapa, pois são elas as responsáveis por realizarem a compactação do material, podendo diminuir o volume para menos de 10% do original, reduzindo consideravelmente os custos com transporte, pois é possível carregar uma quantidade muito maior no mesmo espaço.

Em cooperativas e comércios de materiais reciclados costuma-se encontrar setores de prensagem que compactam o material para reduzir seu volume, facilitando a estocagem e viabilizando o transporte. As prensas utilizadas para essa tarefa são equipamentos que possuem interface pouco amigável para o usuário, tornando difícil a parametrização do equipamento, além de não permitirem a integração com os demais sistemas da empresa.

Em um mundo em que a integração dos sistemas vem sendo cada vez mais exigida, as prensas hidráulicas fabricadas no Brasil estão, aquém do desejado. As empresas estão buscando cada vez mais por soluções eficientes e inteligentes, que tenham uma melhor interação entre homem e máquina, ao passo que as fabricantes nacionais não evoluíram seus produtos, a ponto de atender satisfatoriamente o mercado, muitas vezes limitados a botoeiras, contadores e manômetros.

Os equipamentos tecnologicamente mais avançados, de fabricação estrangeira, são capazes de diminuir os custos do processo de reciclagem, por permitirem um monitoramento integrado do sistema. São capazes de prever falhas e detectar situações que provocam desgastes acelerados, tornando o processo de manutenção mais rápido e menos oneroso. As máquinas produzidas no exterior também apresentam soluções capazes de ajudar na gestão da empresa, monitorando dados de produção e consumo, auxiliando na percepção dos custos de produção, facilitando as tomadas de decisões. Mas se por um lado as máquinas produzidas no exterior apresentam maiores benefícios tecnológicos, por outro elas acabam sendo de difícil aquisição, por conta do elevado valor de importação e pelas poucas linhas de crédito existentes para o seu financiamento, o que acaba forçando a maioria das empresas a adquirirem produtos nacionais, que não atendem todas as características desejadas.

O problema das empresas brasileiras que necessitam de prensas começa na falta de tecnologia nas máquinas, das quais tem acesso, pois desejam cada vez mais sistemas com uma melhor interação entre usuário e máquina, que facilitem a alteração de parâmetros, a diagnose de erros e a gestão do equipamento, tornando assim a produção mais eficiente e personalizada.

O uso de CLP (Altus, 2017) para gestão da prensa de material reciclado, comunicando com IHM e Supervisório permite a customização, controle e gestão da produção de fardos de materiais a serem reciclados.

O CLP permite o ingresso de sensores analógicos ao controle da máquina, algo que traz maior dinamismo e segurança ao sistema, monitorando dados como a pressão e temperatura do óleo, que são incluídos na malha de controle do sistema.

A IHM melhora o grau de interação entre o usuário e a máquina, mostrando dados em tempo real do funcionamento do equipamento, permitindo ao operador alterar de maneira simples os parâmetros da prensa. Além disso, ele é capaz de notificar eventuais falhas, facilitando a percepção do operador a elas, tornando possível a correção antes que causem maiores problemas.

Já o Sistema Supervisório (ELIPSE SCADA, 2015) fornece o estado de funcionamento da máquina a distância, monitorando e armazenando dados de sensores e da produção.

O objetivo principal do projeto é implementar um sistema que tenha maior interação da máquina com o operador para realizar o controle, acionamento e gestão das prensas hidráulicas.

2 METODOLOGIA

A pesquisa é aplicada a uma prensa hidráulica horizontal para papel e plástico, que pode ser vista na Figura 2.1, muito utilizada em cooperativas e comércios de reciclados. Porém, com pequenas alterações é possível aplicar o sistema as demais prensas para reciclagem, adaptando o sistema as diferentes funcionalidades e características que os demais modelos possuem.

Figura 2.1 – Prensa Hidráulica Horizontal para papel e plástico



Fonte: Autor (2017).

Para haver o correto andamento do projeto é necessário que se siga a ordem de implementação, que se inicia no entendimento do funcionamento da prensa, na sua

adaptação a maquete e ao CLP, para que posteriormente seja programado o CLP, que permite a conexão e troca de informações com o sistema supervisório.

Inicialmente é realizada a análise do funcionamento da prensa, de modo a compreender completamente todas as etapas de sua operação, desde o funcionamento do controle da esteira, até o controle do sistema de amarração, e das maneiras que estes são acionados. Esse entendimento permite que seja produzido um levantamento detalhado de todas as entradas e saídas de dados presente na máquina, como por exemplo a quantidade e função de cada botoeira, e a quantidade de solenoides de válvulas.

A partir da coleta de dados de entradas e saídas da prensa é possível verificar se o CLP DUO 351, o controlador disponível para esta pesquisa, é capaz de atender completamente a necessidade de entradas e saídas da prensa. Caso não seja possível, serão feitas adaptações e simplificações do funcionamento, desde que não modifiquem o funcionamento principal da prensa, que é compactar o material reciclado de maneira autônoma.

Outra adaptação que se faz necessária é a da maquete, devido à grande dificuldade que existe em miniaturizar todos os componentes da máquina, principalmente o sistema hidráulico, composto pelas válvulas e solenoides, e o sistema de amarração, que possui partes muito pequenas para serem reduzidas e continuarem funcionais na maquete. Portanto, são feitas algumas modificações destes sistemas, utilizando seringas para o sistema hidráulico, e LEDs e chaves para demonstrar o sistema de amarração de fardos.

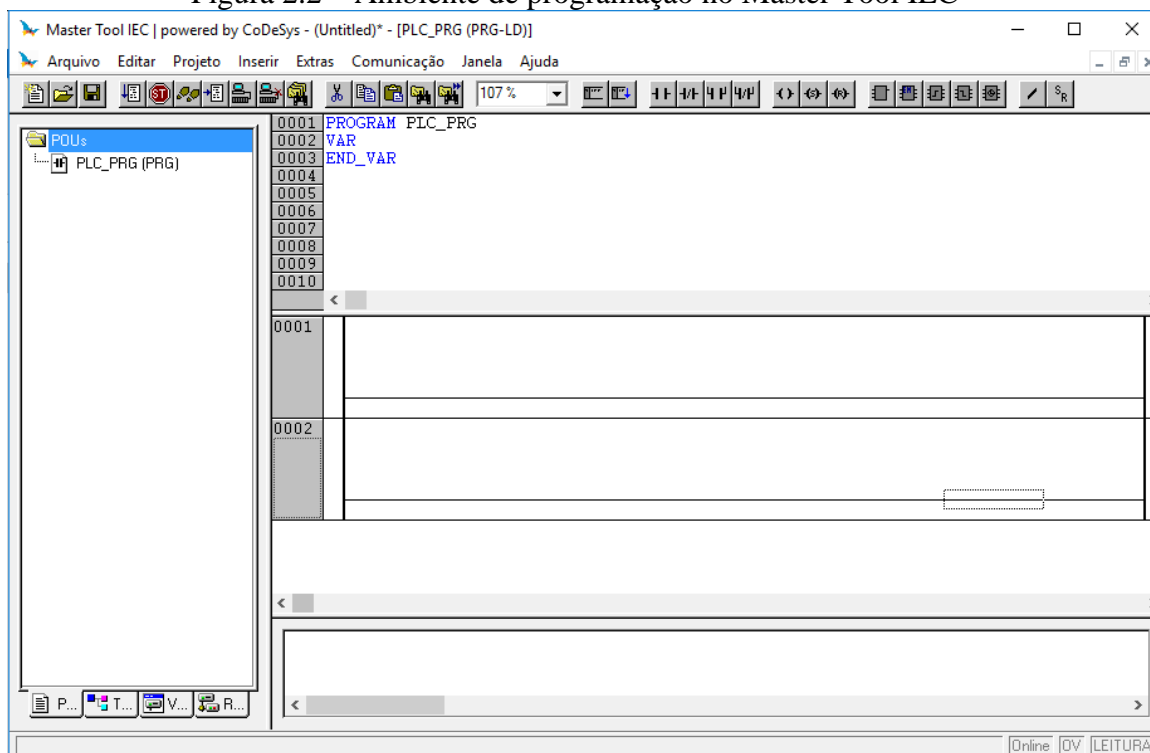
Porém, para preservar a originalidade do sistema no programa do CLP, é conectado um módulo microcontrolador Arduino a maquete, de modo que este faça a interface entre maquete e controlador, fazendo uma conversão dos dados obtidos na maquete para os dados que seriam obtidos numa prensa real, para depois enviá-los nas entradas do CLP. Da mesma maneira, o Arduino recebe as saídas do CLP e as converte para que seja possível representá-las na maquete. Isso permite que o sistema proposto esteja apto a operar uma prensa real, e não apenas a fazer o controle de uma miniatura.

Após ter o sistema completamente adaptado ao CLP, é feita a modelagem do ciclo de prensagem utilizando a linguagem Grafcet (Agostini, 2008), pois ela permite uma melhor visualização de cada etapa deste ciclo de funcionamento da máquina, auxiliando na programação do controlador. Pois utilizando métodos de conversão da linguagem Grafcet para o ladder, linguagem amplamente utilizada para programação de CLPs, se obtém um programa de fácil entendimento. O ladder é utilizado por além de controlar o

ciclo de prensagem, permite controlar de maneira simples e simultânea o acionamento da esteira e a posição do tenaz.

Toda a programação do CLP, incluindo sua IHM, é feita a partir do *software* Master Tool IEC, disponível para *download* de maneira gratuita no site da Empresa Altus. Este aplicativo possui diversos recursos que auxiliam na programação, contando com inúmeros blocos funcionais que permitem o desenvolvimento de aplicações mais complexas. A Figura 2.2 apresenta o ambiente de programação do CLP Altus.

Figura 2.2 – Ambiente de programação no Master Tool IEC



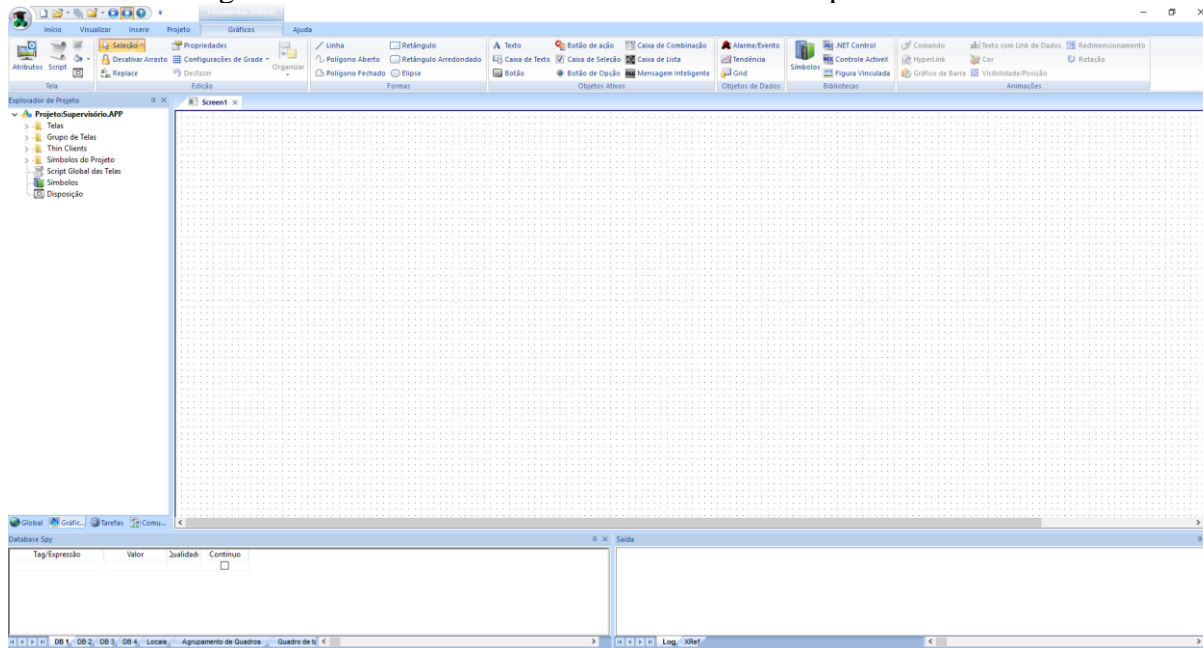
Fonte: Autor (2017).

A comunicação entre o CLP e o computador para programação, e para a execução do sistema supervisório é realizada por meio do protocolo *Modbus RTU*, configurado a velocidade de 115.200bps, que permite uma comunicação consideravelmente rápida para a quantidade de dados que é transmitido. É utilizado o meio físico RS-232 para fazer a conexão entre computador e controlador. Neste sistema o CLP é um escravo na rede, pois é o sistema supervisório que solicita os dados e envia ações para serem executadas.

Neste trabalho é utilizado o *software* Indusoft Web Studio Educational 8.0 para criação e execução do sistema supervisório, pois a versão educacional não limita a quantidade de *Tags* de comunicação, permitindo o desenvolvimento de todo o projeto sem complicações no limite de comunicação. A aplicação conta com diversos recursos que

facilitam a implementação do sistema supervisorio, sendo destaque o histórico, os alarmes, as receitas, as funções de visibilidades e movimento, que são empregadas para agregar ainda mais funcionalidades de monitoramento e controle ao sistema proposto. A Figura 2.3 apresenta o ambiente do sistema supervisorio.

Figura 2.3 – Ambiente de desenvolvimento do Supervisorio



Fonte: Autor (2017).

No sistema supervisorio é demonstrado na tela principal o estado de funcionamento atual da prensa, ilustrando de maneira simples o movimento dos cilindros, o estado de acionamentos dos motores, os valores de pressão atual no sistema hidráulico principal e a sua pressão máxima, tamanho do fardo atual e tamanho desejado e da temperatura do óleo. Além desta tela, existem outras que permitem a modificação dos parâmetros da máquina, monitoramento dos alarmes, gráficos de tendência e histórico de pressão e temperatura.

3 RESULTADOS E ANÁLISE

A prensa analisada para a aplicação do aprimoramento da interação com o usuário possui dois modos de operação. O modo manual, em que o operador realiza o controle

individual de cada ação da máquina, e o modo automático, em que a prensa é capaz de realizar a operação de forma autônoma.

No modo autônomo, o material é colocado na esteira transportadora, que o leva até a entrada no funil. No funil existem 2 sensores, um que verifica a existência de material e outro que verifica o transbordo, este último controla a esteira, desligando-a caso o funil esteja cheio. Após a passagem pelo funil, o material cai dentro da área de prensagem da prensa, onde ele é compactado pelo cilindro principal. Para tensionar o material dentro da prensa, evitando que ele escorregue facilmente sem ser prensado, existe um cilindro hidráulico barrando a saída do material, a tenaz, que consegue diminuir as laterais em contato com o material, permitindo a correta prensagem deles. O cilindro principal possui 6 sensores de posição, um sensor no início de curso, um no fim de curso e outro na posição de amarração e cada um destes sensores possui um respectivo sensor de emergência, capaz de prosseguir com a execução do equipamento em caso de falha dos sensores primários.

Conforme o fardo vai aumentando e ficando pronto, ele movimenta um medidor em formato de engrenagem, que rotaciona em contato com o fardo, permitindo que o sensor indutivo acoplado a ele realize uma medição indireta do comprimento do fardo, contando quantos dentes da engrenagem já passaram pelo sensor por meio de um contador. Ao chegar no número que determina que o fardo está pronto, o cilindro principal se move até a posição de amarração, em que então as agulhas atravessam o fardo com o arame, levando até o cortador. Após cortado, o amarrador de arames gira por 8 segundos, para prender o arame, e depois gira em sentido oposto por 3 segundos, para soltar o arame do amarrador. Em seguida o cortador e a agulha retornam, e o processo se reinicia, para produzir um novo fardo.

O sistema hidráulico da prensa é composto por dois sistemas individuais. O primeiro possui um motor de 40cv que aciona a bomba responsável por movimentar o pistão principal. Já o segundo possui um motor de 10cv, e movimenta as agulhas, o cortador e a tenaz. Além disso há um motor de 5cv responsável pela movimentação da esteira e outro de 3cv que movimenta o amarrador.

Desta maneira, é obtido as seguintes saídas de dados da prensa, considerando o modo manual e automático, descritos no Quadro 2.1.

Quadro 2.1 - Elementos de comando da prensa

Nome	Tipo
Liga/Desliga Motores	Botoeira
Liga/Desliga Esteira	Botoeira
Seleção Modo	Botoeira
Avanço Cilindro Principal	Botoeira
Recuo Cilindro Principal	Botoeira
Avanço Agulha	Botoeira
Recuo Agulha	Botoeira
Avanço Tenaz	Botoeira
Recuo Tenaz	Botoeira
Avanço Cortador	Botoeira
Recuo Cortador	Botoeira
Giro Horário Amarrador	Botoeira
Giro Anti-Horário Amarrador	Botoeira
Início de Curso Cil. Principal	Sensor - Digital
Início de Curso Cil. Principal Emerg.	Sensor – Digital
Fim de Curso Cil. Principal	Sensor – Digital
Fim de Curso Cil. Principal Emerg.	Sensor – Digital
Posição Amarração Cil. Principal	Sensor – Digital
Posição Amarração Cil. Principal Emerg.	Sensor – Digital
Início de Curso Agulha	Sensor – Digital
Fim de Curso Agulha	Sensor – Digital
Início de Curso Cortador	Sensor – Digital
Fim de Curso Cortador	Sensor – Digital
Sem Material no Funil	Sensor – Digital
Transbordo do Funil	Sensor – Digital
Tamanho do Fardo	Sensor – Digital – Contador

Fonte: Autor (2017).

E os seguintes elementos atuadores, vistos no Quadro 2.2.

Quadro2.2 – Atuadores da prensa

Nome	Tipo
Acionamento Motor 40cv	Contator
Acionamento Motor 10cv	Contator
Acionamento Motor 5cv	Contator
Acionamento Motor 3cv	Contator
Acionamento Reverso Motor 3cv	Contator
Avanço Cilindro Principal	Solenóide
Retorno Cilindro Principal	Solenóide
Avanço Agulha	Solenóide
Retorno Agulha	Solenóide
Avanço Tenaz	Solenóide
Retorno Tenaz	Solenóide

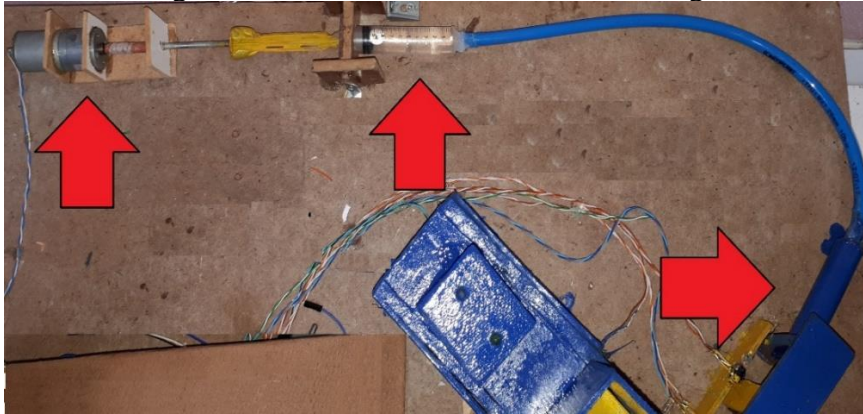
Fonte: Autor (2017).

Devido à grande quantidade de entradas necessárias para o CLP, algumas modificações foram necessárias, para que o CLP DUO 351 fosse apto a controlar a máquina. Foi preciso retirar totalmente o controle manual da prensa, pois ele exigia uma grande quantidade de entradas e costuma não ser utilizado nas empresas, já que o modo de operação que traz maior rendimento é o automático. Portanto, todas as operações com botoeiras foram retiradas, e foi adicionado uma para ligar e desligar o equipamento.

Já na maquete, foram necessárias mais adaptações, mas que não modificaram o princípio de operação. Foi exigida a retirada do sensor de emergência da posição de amarração, em consequência de uma limitação de espaço físico da maquete e do risco de acionamento em posição incorreta, caso fosse representado por chaves, que foi a forma de representar os demais sensores de emergência do cilindro principal. Outra adaptação foi referente aos sensores de pressão e temperatura, inexistentes nas prensas atuais e que na maquete foram representados por potenciômetros, que permitiram uma alteração no valor de tensão lido pelas entradas analógicas do CLP. Ademais, foi preciso alterar a forma de representação e de acionamento de alguns componentes, o estado dos motores de 40cv e 10cv passaram a ser representados por um LED, que se acesso indicava que os motores estavam ligados. O estado dos solenoides do cortador e do tenaz, e do amarrador, foram indicados por LEDs, já que não foi possível fazer a movimentação desses cilindros na maquete, por possuírem um tamanho e movimento muito limitado. Os fins de cursos do cortador foram representados por chaves, e da mesma maneira os sensores de presença de material, que integram o funil de entrada da prensa, também foram executados desta forma.

Os sistemas hidráulicos do cilindro principal e da agulha foram construídos utilizando um motor acoplado a uma seringa, que por sua vez era conectada a outra seringa que representava o cilindro na prensa. Dependendo do sentido de rotação do motor, era exercido uma força para empurrar ou puxar o embolo da seringa, que causava o movimento similar na outra seringa, permitindo assim o funcionamento dos cilindros. A montagem pode ser vista na imagem da Figura 2.4.

Figura 2.4 – Sistema Hidráulico com seringas

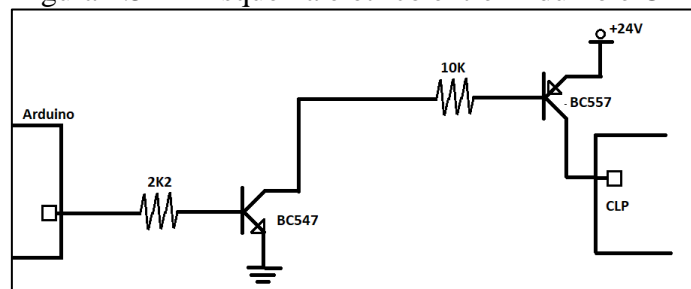


Fonte: Autor (2017).

O início e fim de curso do cilindro principal foi montado a partir de chaves de fim de curso, presentes em *drivers* leitores de CD, que funcionam de maneira semelhante aos utilizados na indústria. Já os fins de curso da agulha e o sensor de posição de amarração são feitos com sensores ópticos reflexivos TCRT5000, que ao detectar a posição correta, que é propositalmente mais reflexiva, aumentava o valor de tensão, que é detectado pela entrada analógica do Arduino, que envia um sinal ao CLP indicando que determinado fim de curso foi acionado.

Devido a incompatibilidade de tensões do Arduino com o CLP, já que o primeiro trabalha na faixa de 5V e o segundo na faixa de 24V, o sinal de saída do Arduino passa por um circuito com transístores BC547 e BC557, que permitem o acionamento de uma entrada 24V no CLP. O esquema do circuito e sua montagem final podem ser vistos a seguir, na Figura 2.5.

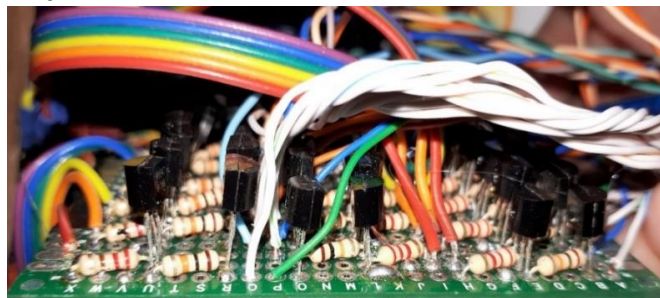
Figura 2.5 1 – Esquema elétrico entre Arduino e CLP



Fonte: Autor (2017)

A Figura 2.6 apresenta a montagem física de todos os transístores necessários para comunicação entre o Arduino e o CLP.

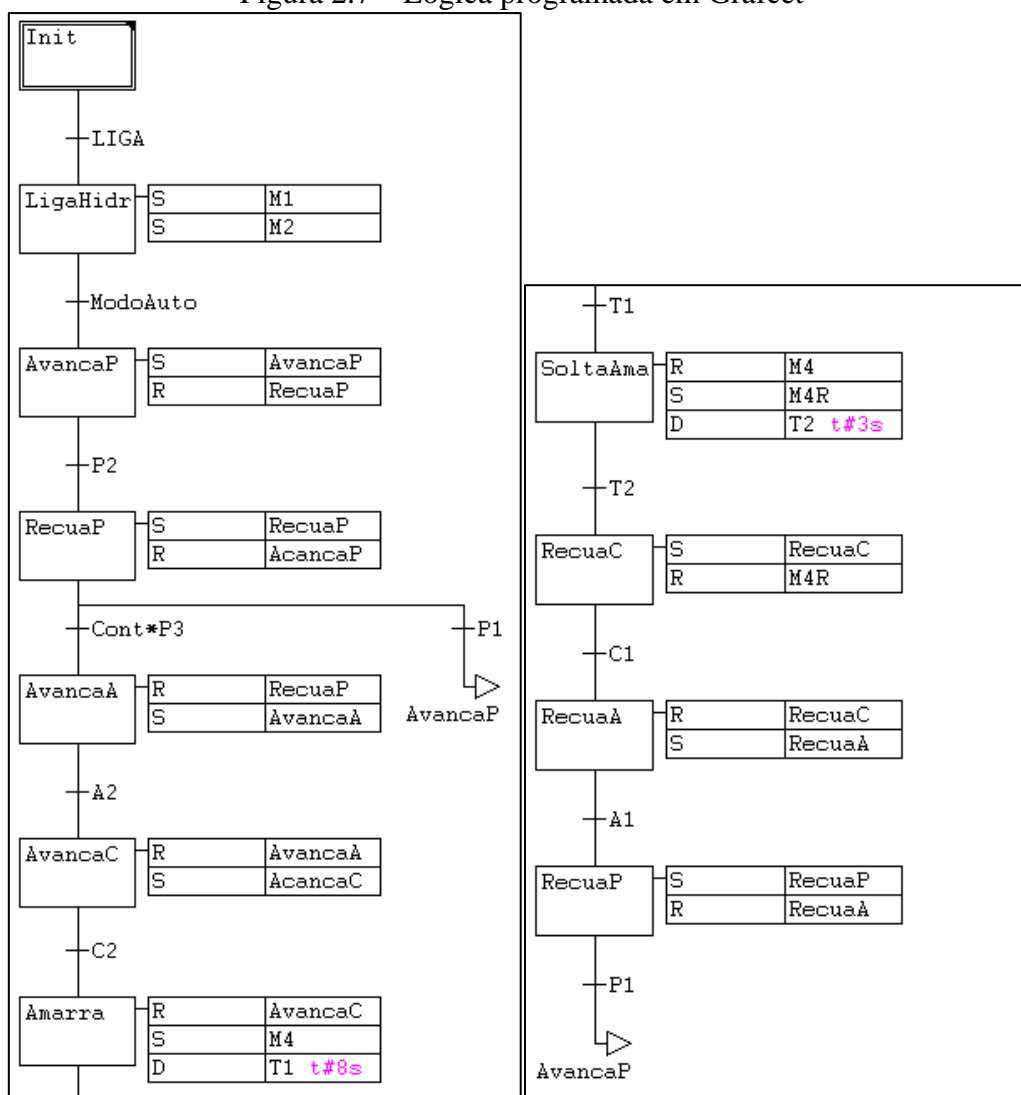
Figura 2.6 – Circuito entre saídas do Arduino e entradas do CLP



Fonte: Autor (2017).

Para programação do CLP fora desenvolvido a lógica de comando na linguagem *Grafcet*, para posterior tradução à linguagem *Ladder*. A Figura 2.7 apresenta a lógica programada em *Grafcet*.

Figura 2.7 – Lógica programada em Grafcet



Fonte: Autor (2017).

O programa em *ladder*, traduz a codificação elaborada em *Grafcet*, e inicia com a lógica para acionamento da máquina, que ao receber um pulso em LIGA aciona a máquina e se mantém assim até que haja um pulso em DESL ou quando é detectado que a prensa não recebe material há mais de 5 minutos.

Com o acionamento da máquina, são ligados os dois motores responsáveis pelo sistema hidráulico e o da esteira, este que se mantém acionado até que seja verificado o transbordo de material no funil, ou seja, quando o sensor que fica na posição alta do funil detectar material por mais de 5 segundos consecutivos. Após é realizada a monitoração do contador, que detecta se o comprimento do fardo é do tamanho desejado, neste controle há a conversão da unidade, que é medida indiretamente, para apresentar ao usuário no supervísório uma medida em centímetros. Caso o valor do contador atinja o valor desejado, ou se solicite via supervísório que finalize o fardo, é acionada a memória FardoP, que atua no programa indicando que o fardo está pronto. Nas linhas seguintes a este controle é realizada a monitoração da pressão, que primeiro coloca o valor lido do sensor para dentro da faixa de leitura real e em seguida verifica se o valor medido é superior ao desejado, se essa condição se mostrar verdadeira, é indicada na memória PressMax que o valor de pressão atingiu o máximo permitido para aquele material, fazendo com que o cilindro principal recue.

Inicia então o controle do ciclo de prensagem, que foi realizado a partir da conversão do modelo em *Grafcet*. O passo 1 se inicia com o acionamento da máquina, e provoca o avanço do cilindro principal, que ao atingir a posição do fim de curso P2, passa o sistema para o passo 2, que também pode ser acionado com PressMax, e provoca o recuo do cilindro principal. Caso o fardo não esteja pronto, indicado por FardoP, a mesa de prensagem se moverá até o início de curso P1, e provocará o reinício deste ciclo. Porém se FardoP estiver acionado, ele se moverá até a posição P3 e iniciará o ciclo de amarração com o passo 4. Este passo faz o avanço da agulha, que irá parar e passar para o passo seguinte ao atingir seu fim de curso. No passo 5 o cortador avança até seu fim de curso, iniciando o passo seguinte, que fará o amarrador acionar por 8 segundos, fazendo a amarração dos arames, em seguida ele gira no sentido inverso por 3 segundos, para soltar o arame do amarrador. Com a amarração completa, o cortador recua, até seu início de curso, e logo após a agulha também volta para sua posição inicial. O passo seguinte fazer o *reset* o valor do contador e escreve o valor zero na memória, que permite ao supervísório finalizar o fardo, indicando sua conclusão, então o cilindro principal se move até sua posição inicial e todo o ciclo recomeça, para produzir um novo fardo.

Após, é realizada a leitura do valor de temperatura e a transforma para estar dentro da faixa real. Este valor da temperatura é enviado para uma memória, que é compartilhada com o sistema supervisor. Em seguida, há as linhas de controle da posição do tenaz, que detecta as bordas de descida e subida, segundo o valor desejado no supervisor, e com base nelas, faz o acionamento do avanço ou do recuo do tenaz por 5 segundos. A tenaz não possui fim de curso na prensa real, sendo a alteração de posição apenas por determinado tempo, da mesma maneira que ocorre no programa. E por fim temos o controle dos fins de curso de emergência, que caso sejam acionados sem seu respectivo sensor principal, escrevem numa memória compartilhada com o supervisor, que existe defeito no fim de curso, e caso o fim de curso principal seja acionado, essa posição de memória volta a zero.

Na programação do CLP existe a sua IHM (Inteface Humano-Máquina), que foi programada para possuir uma interface simples, apresentando ao usuário os quatro valores mais relevantes na operação, o tamanho atual do fardo e o desejado, que permite o acompanhamento da produção. Além dos valores atuais de pressão e temperatura, como pode ser visto a seguir na Figura 2.8.

Figura 2.8 – IHM da aplicação desenvolvida



Fonte: Autor (2017).

O sistema supervisor é composto por diversas telas, sendo que apenas o cabeçalho e rodapé ficam sempre visíveis. No cabeçalho há o título do supervisor e o horário atual. Já no rodapé existem os botões para navegação, que permitem trocar de tela e sair da aplicação.

Na tela principal, a prensa é demonstrada em duas vistas. Uma vista frontal, que permite a visualização do avanço das agulhas e do estado do motor da esteira. E uma vista lateral, que permite visualizar o avanço do cilindro principal, o tamanho do fardo de maneira visual, os estados dos dois motores do sistema hidráulico e o estado do motor de amarração de arames. E por fim, uma vista do funil da prensa, que apresenta 3 níveis de enchimento: tanque vazio, na altura do 1 sensor e na altura do 2 sensor. Além destes elementos, também há um visor que mostra a temperatura atual do óleo e um medidor que apresenta a pressão atual e a pressão máxima permitida. E por fim existe um elemento que mostra o comprimento atual do fardo e seu *setpoint*.

Além dessa visualização, também é possível modificar o valor desejado do fardo, e ainda enviar um sinal para finalizar o fardo que está sendo produzido, independente do seu tamanho atual. A Figura 2.9 mostra a tela do sistema supervisório desenvolvido para esta aplicação.



Fonte: Autor (2017).

Nesta tela é possível alterar os parâmetros influenciados pelo material, que é pressão máxima e posição da Tenaz, e alterar o comprimento do fardo, que é relativo ao tamanho do caminhão. Estes dados podem ser salvos por tipo de material e por placa de caminhão, como por exemplo, ao definir o comprimento de fardo para determinado caminhão e salvá-lo. Não é preciso que o usuário memorize este comprimento, pois caso seja necessário produzir fardos novamente para este caminhão, basta informar a placa e recarregar os parâmetros. Isso vale para o material a ser prensado. A Figura 2.10 mostra a tela de parâmetros do sistema supervisório.

Figura 2.10 – Tela parâmetros do supervisor desenvolvido

Fonte: Autor (2017).

Quanto a tela de alarmes, o objetivo principal desta tela é informar ao usuário a ocorrência de qualquer problema ou situação anormal, para que este possa tomar uma ação corretiva. Neste sistema o alarme monitora 4 variáveis. A pressão do óleo, que por segurança não pode ultrapassar 200bar, sob risco de causar problemas no sistema hidráulico, os defeitos nos fim de cursos do cilindro principal, e também a temperatura do óleo, sendo que esta possui 2 níveis de aviso, uma indicando que está alta se estiver acima de 60°C, e outra indicando que está muito alta se estiver acima de 80°C. Caso o usuário esteja na tela inicial no momento do disparo de algum alarme, é acionado um aviso intermitente na tela, para que seja percebido a ocorrência do problema. A Figura 2.11 mostra o ambiente de alarmes.

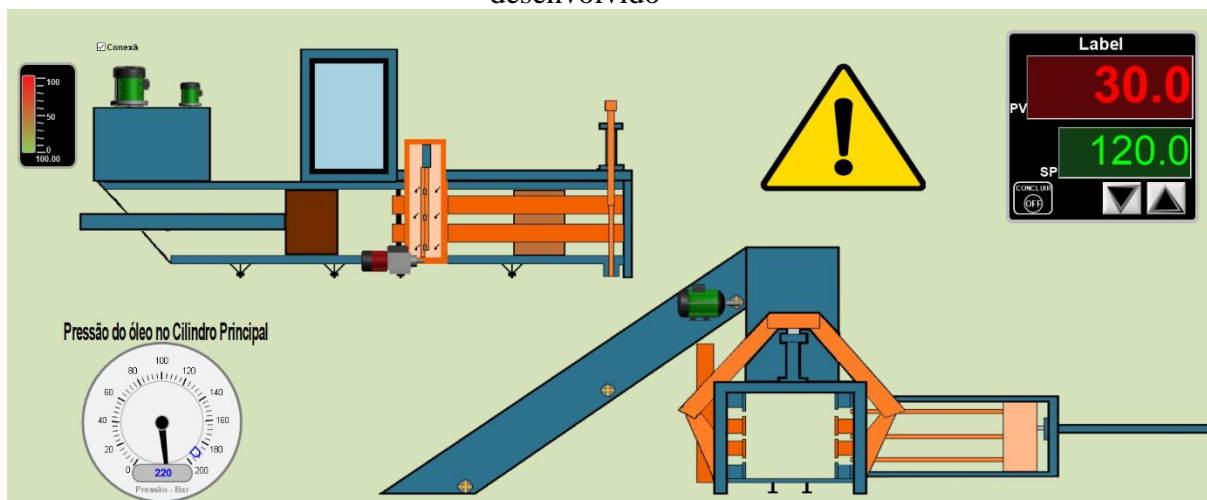
Figura 2.11 – Tela alarmes no supervisor desenvolvido

⚠	11/18/2017 19:59:58	Temperatura	Temperatura do óleo muito alta	100	
✓	11/18/2017 19:56:12	DefeitoP2	Defeito no Fim de Curso Principal 2!	1	11/18/2017 19:59:52
⚠	11/18/2017 19:56:12	DefeitoP1	Defeito no Fim de Curso Principal 1!	1	

Fonte: Autor (2017).

A Figura 2.12 mostra a tela inicial com o aviso intermitente, indicando ao usuário que há um alarme acusando problemas.

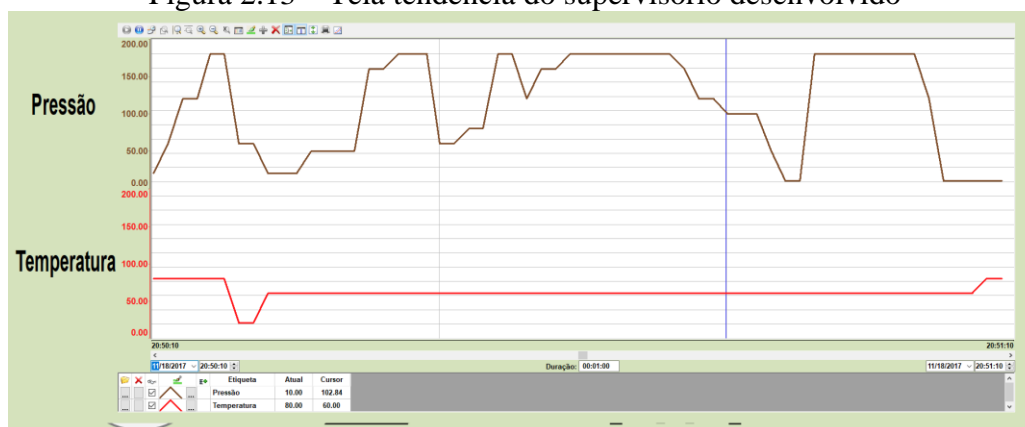
Figura 2.12 – Tela inicial com aviso de alarme intermitente no supervisório desenvolvido



Fonte: Autor (2017).

Na tela tendência é possível acompanhar graficamente a variação de temperatura e pressão do óleo, estes gráficos permitem um registro histórico do comportamento de cada variável, e torna possível fazer uma análise estatística do comportamento de cada uma, verificando dados como valores mínimos, médios e máximos, que podem trazer informações úteis para a prevenção de falhas. A Figura 2.13 apresenta a tela de tendência no sistema supervisório desenvolvido.

Figura 2.13 – Tela tendência do supervisório desenvolvido



Fonte: Autor (2017).

Na tela Histórico há o acompanhamento de todas as mudanças de *setpoints* de pressão máxima, comprimento do fardo desejado e posição do tenaz realizado pelo usuário, de modo que possa ser visto os parâmetros que foram alterados anteriormente. A

Figura 2.14 apresenta a tela de histórico do sistema supervisorio desenvolvido para este trabalho de pesquisa.

Figura 2.14 – Tela histórico do supervisorio desenvolvido

Tempo de evento	Nome da Tag	Mensagem	Valor	✘	Usuário
11/18/2017 20:51:16	pressãomax	"Modificou a pressão Max"	190	✘	Guest
11/18/2017 20:51:16	TamanhoDesejado	"Modificou o tamanho do Fardo"	120	✘	Guest
11/18/2017 20:51:16	tenaz	"Modificou a posição da Tenaz"	0	✘	Guest
11/18/2017 20:51:13	pressãomax	"Modificou a pressão Max"	190	✘	Guest
11/18/2017 20:51:13	TamanhoDesejado	"Modificou o tamanho do Fardo"	120	✘	Guest
11/18/2017 20:51:13	tenaz	"Modificou a posição da Tenaz"	0	✘	Guest
11/18/2017 20:51:10	pressãomax	"Modificou a pressão Max"	190	✘	Guest
11/18/2017 20:51:09	TamanhoDesejado	"Modificou o tamanho do Fardo"	120	✘	Guest
11/18/2017 20:51:09	tenaz	"Modificou a posição da Tenaz"	0	✘	Guest
11/18/2017 20:51:06	pressãomax	"Modificou a pressão Max"	190	✘	Guest
11/18/2017 20:51:06	TamanhoDesejado	"Modificou o tamanho do Fardo"	120	✘	Guest
11/18/2017 20:51:06	tenaz	"Modificou a posição da Tenaz"	0	✘	Guest
11/18/2017 20:51:04	pressãomax	"Modificou a pressão Max"	190	✘	Guest
11/18/2017 20:51:04	TamanhoDesejado	"Modificou o tamanho do Fardo"	120	✘	Guest
11/18/2017 20:51:03	tenaz	"Modificou a posição da Tenaz"	0	✘	Guest
11/18/2017 20:51:01	pressãomax	"Modificou a pressão Max"	190	✘	Guest
11/18/2017 20:51:01	TamanhoDesejado	"Modificou o tamanho do Fardo"	120	✘	Guest
11/18/2017 20:51:01	tenaz	"Modificou a posição da Tenaz"	0	✘	Guest
11/18/2017 20:50:57	pressãomax	"Modificou a pressão Max"	190	✘	Guest
11/18/2017 20:50:57	TamanhoDesejado	"Modificou o tamanho do Fardo"	120	✘	Guest
11/18/2017 20:50:57	tenaz	"Modificou a posição da Tenaz"	0	✘	Guest
11/18/2017 20:50:54	pressãomax	"Modificou a pressão Max"	190	✘	Guest
11/18/2017 20:50:54	TamanhoDesejado	"Modificou o tamanho do Fardo"	120	✘	Guest
11/18/2017 20:50:54	tenaz	"Modificou a posição da Tenaz"	0	✘	Guest
11/18/2017 20:50:51	pressãomax	"Modificou a pressão Max"	190	✘	Guest
11/18/2017 20:50:51	TamanhoDesejado	"Modificou o tamanho do Fardo"	120	✘	Guest
11/18/2017 20:50:51	tenaz	"Modificou a posição da Tenaz"	0	✘	Guest
11/18/2017 20:50:48	pressãomax	"Modificou a pressão Max"	190	✘	Guest
11/18/2017 20:50:48	TamanhoDesejado	"Modificou o tamanho do Fardo"	120	✘	Guest

Fonte: Autor (2017).

A partir dos resultados obtidos no controle da maquete, percebe-se que o sistema atingiu todos os requisitos propostos. A utilização do CLP permitiu agregar novas informações ao processo, trazendo a pressão máxima para a malha de controle da prensa, e por permitir de maneira simplificada, que o operador tenha acesso a informação da temperatura do óleo, muito importante para a prevenção de falhas, por poder indicar diversos problemas, como o entupimento dos filtros.

O sistema supervisorio trouxe diversas funcionalidades que facilitam o gerenciamento da prensa, como os gráficos de tendência, que permitem detectar por exemplo que a temperatura média do óleo durante a operação está maior do que o normal, o que pode significar alguma sujeira no sistema de óleo, provocando o aumento da temperatura. Esta informação não é obtida nos modelos de prensas hidráulicas fabricadas no Brasil, sendo praticamente impossível detectar estas alterações até que a máquina apresente alguma falha. E mesmo em casos de falhas, o sistema de alarmes é capaz de avisar o operador, informando por exemplo alguma falha em determinado fim de curso, que indica ser necessário sua troca.

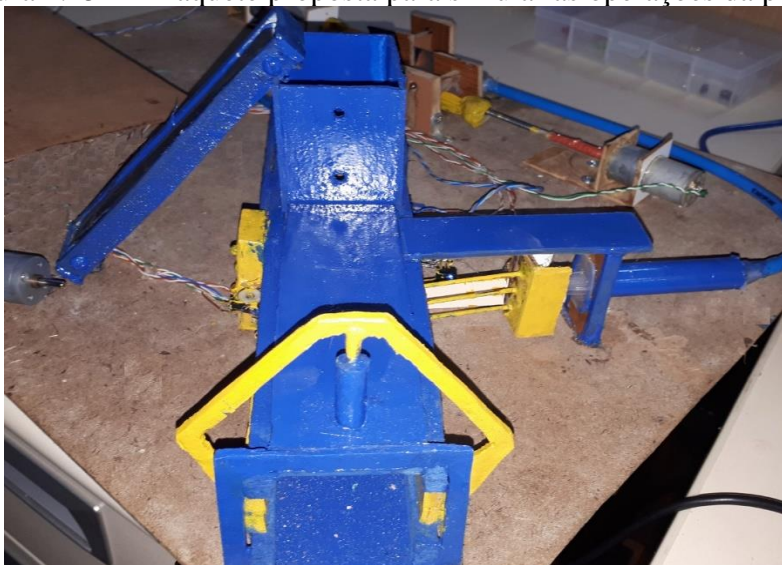
O sistema de receitas, em que é possível determinar o tamanho do fardo pela placa do caminhão e determinar o *setpoint* de pressão e posição de tenaz, funcionou da maneira esperada, permitindo que o operador não precise lembrar todos os parâmetros para cada material, pois é possível salvar esses parâmetros e depois recarregá-los, quando preciso.

Já a determinação do comprimento do fardo é especialmente útil, para que os fardos ocupem o espaço total do caminhão, porque hoje é frequente ser necessário produzir meio fardo, para completar o espaço que sobrou na carroceria. E mesmo que seja necessário finalizar um fardo antes que este atinja o comprimento, com o sistema supervisor é simples de realizar o procedimento, pois apenas com um clique é possível solicitar que o fardo seja amarrado, enquanto nas prensas atuais isso é uma tarefa mais complicada, pois é necessário que o operador vá até a engrenagem que mede o comprimento e a gire, para que o valor atinja o determinado no contador.

Além dessa opção de finalizar o fardo, é possível a partir da tela inicial modificar os valores de *setpoint* do comprimento desejado. E ainda nessa tela inicial, há a visualização completa do funcionamento da máquina, com o objetivo de tornar possível o acompanhamento do funcionamento da máquina, sem estar exposto a poeira e barulho que existem ao redor.

E por fim, é possível ter o histórico de todos os parâmetros modificados, que é muito importante para identificar o que pode ter ocasionado eventuais falhas, se foi algo relacionado com a alteração de parâmetros. A Figura 2.15 apresenta a maquete proposta para simular as operações da prensa.

Figura 2.152 – Maquete proposta para simular as operações da prensa



Fonte: Autor (2017).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como pode ser observado nos resultados, as expectativas com o sistema proposto foram atendidas. O CLP, em conjunto com o sistema supervisório, conseguiu melhorar a interação com o usuário e trazer sinais analógicos, provenientes do sensor de pressão, para a malha de controle. Toda a interação do supervisório diminuiu os riscos envolvidos ao operador, que antes necessitava estar ao lado da prensa para realizar sua operação.

Infelizmente, não foi possível fazer a construção de uma maquete que atendesse a todas as funcionalidades da prensa, já que diversos sensores e atuadores tiveram de ser adaptados. Mas graças ao Arduino que fazia a interface, isso acabou não interferindo na malha de controle do CLP, permitindo a criação de um programa que controlasse uma prensa real e não uma maquete.

Diversas áreas estudadas ao longo do curso foram necessárias para a execução deste projeto. Além dos conceitos aprendidos sobre CLP e Sistemas Supervisórios, foi necessário utilizar os conhecimentos adquiridos de elétrica, eletrônica, programação e hidráulica, para entender o funcionamento de uma prensa e replicá-los numa maquete, ainda mais por ter sido preciso montar diversos circuitos elétricos para tornar possível a interface do Arduino com o CLP, visto que trabalham em níveis diferentes de tensão.

Em trabalhos futuros, espera-se executar o projeto sem as limitações presentes neste, com um CLP capaz de fazer leitura e escrita de todos os dados necessários, incluindo as botoeiras do modo manual. Também há a possibilidade da adição de mais funcionalidades ao sistema supervisório, como um controle de produção, e dados de consumo elétrico e de arame.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIPET. **Censo da reciclagem de pet no Brasil**. 10. ed. São Paulo, 2016. Disponível em: <http://www.abipet.org.br/indexAjax.html?method=baixarArquivo&id=548>. Acesso em: 29 ago. 2017.

ABRALATAS. Lata mantém índices de reciclagem próximos a 100% e reduz impacto ambiental. **Revista da Lata**, Brasília, DF, n. 10, p.24-24, 2016. Disponível em: http://www.abralatas.org.br/wp-content/uploads/2016/08/revista_da_lata_ed10.pdf. Acesso em: 29 ago. 2017.

AGOSTINI, Nestor. **Grafcet**: automação industrial parte 2. 2008. Disponível em: [http://www.sibratec.ind.br/binario/320/AUTOMA#U00c3+O INDUSTRIAL - PARTE 2.pdf](http://www.sibratec.ind.br/binario/320/AUTOMA#U00c3+O+INDUSTRIAL+-+PARTE+2.pdf). Acesso em: 29 nov. 2017.

ALTUS. **Série Duo**. Disponível em: [http://www.altus.com.br/site_ptbr/index.php?option=com_content&view=article&id=26 &Itemid=28](http://www.altus.com.br/site_ptbr/index.php?option=com_content&view=article&id=26&Itemid=28). Acesso em: 30 ago. 2017.

CEMPRE. O contexto histórico, a evolução e as perspectivas do mercado de resíduos recicláveis no Brasil. **Cempre Review 2013**, São Paulo, p.6-7, 2013. Disponível em: <http://cempre.org.br/download.php?arq=b18xOTVhNmJvOHExNHhkazZsMW42bzFzdTFxMGxhLnBkZg==>. Acesso em: 29 ago. 2017.

ELIPSE SCADA. **Manual do Usuário**. [S.l]: Elipse Software, 2015. Disponível em: <https://www.elipse.com.br/downloads/?cat=69&key;=&language=ptbr>. Acesso em: 30 ago. 2017.

LISBOA, Carla. Os que sobrevivem do lixo. **Desafios do Desenvolvimento**, Brasília, DF, n. 77, p.58-63, out. 2013. Disponível em: http://desafios.ipea.gov.br/images/stories/PDFs/desafios077_completa.pdf. Acesso em: 29 ago. 2017.

NERY, Guilherme Fernando. **Aprimoramento da interação homem-máquina em prensas hidráulicas para reciclagem**. 2017. 61 f. Monografia (Graduação) - Curso de Tecnólogo em Automação Industrial, Universidade Estadual do Rio Grande do Sul - Uergs, Porto Alegre, 2017. Disponível em: <https://repositorio.uergs.edu.br/xmlui/handle/123456789/2356>. Acesso em: 30 jun. 2023.

3

ESTUDO DE GIGA DE TESTES APLICADA A CONFIGURAÇÕES PADRÕES DE GRUPOS GERADORES DE ENERGIA DE COMBUSTÃO A DIESEL

Jonas Gidion Crixel

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo sintetiza o trabalho de conclusão de curso de Crixel (2018), ao estudar as gigas de teste para grupos geradores de energia elétrica.

As empresas procuram cada vez mais otimizar seus processos, reduzindo os seus custos fabris. Independente do ramo de atividade, a energia elétrica compõe os insumos mais caros entre suas despesas. Mesmo tendo esta significância financeira, a qualidade e disponibilidade da energia elétrica não é garantida. Por este motivo, muitas empresas fazem utilidade de geração de energia própria para suas unidades. O uso destes geradores geralmente ocorre sob regime de cargas variáveis. O grupo gerador de energia, quando implementado por estas empresas, necessita de uma parametrização e configuração inicial de acordo com os requisitos característicos de cada carga instalada. Esta configuração necessita ser realizada com as conexões na carga, estando o técnico junto ao cliente procedendo os ajustes e análise de funcionamento do grupo gerador.

Neste contexto, o presente trabalho tem por finalidade o desenvolvimento de protótipo de testes de especificações do grupo gerador em campo, simulando as configurações padrões de requisitos técnicos de carga, rede e geração de energia elétrica.

O dispositivo é composto por um *software* de monitoramento de grandezas elétricas de tensão, corrente, frequência e os dispositivos de proteção e comando da chave de transferência de carga, entre grupo gerador e rede. Almeja-se, assim, uma possibilidade

de avaliar, qualificar e testar, de forma automática, a correta configuração e operação da geração de energia, antes de seu envio ao cliente.

Os testes de parâmetros e configurações das entregas técnicas dos grupos geradores são efetuados de forma manual e empírica, ou seja, sem que haja uma padronização e sistemática autônoma, bem como a necessidade que ocorra com a carga conectada, necessitando destes ajustes e testes serem realizados junto ao cliente. Com o protótipo de testes de configuração (Giga³) proposta neste trabalho, esta atividade passa a ser executada automaticamente, de forma a garantir a correta configuração do gerador de energia.

A falta da automação deste tipo de serviço, no ramo de fabricantes de geradores, para uso em campo na entrega técnica, foi a motivação para a realização de uma giga de testes.

A criação da giga de testes para a parametrização do gerador de energia em condições de laboratório auxilia na obtenção dos parâmetros do sistema de geração, criando assim uma pré-disposição a uma configuração padrão de fábrica, que atenda às suas demandas e requisitos técnicos específicos de cada gerador instalado, sem a necessidade de efetuar tais ajustes junto ao cliente.

O presente trabalho tem como objetivo geral o desenvolvimento de um sistema automatizado de testes para auxílio nas configurações padrões de instalação de grupos geradores elétricos.

Uma das principais tecnologias utilizadas neste trabalho é o microcontrolador *DEEP SEA*⁴. A *Deep Sea* é uma empresa fabricante de microcontroladores, na qual apresenta uma linha inteligente de soluções de controle de grupos geradores, rede, carga e controle de transferências. O modelo que será utilizado durante o projeto será o modelo DSE 8620 – módulo de controle e sincronização e compartilhamento de carga.

O DSE 8620, é um módulo de controle de compartilhamento de carga de partida automática com visor monocromático inteligente, com recursos líderes do setor para aprimorar o controle de vários conjuntos. O módulo pode ser sincronizado com até 32

³ A Giga de Teste é um *software* fornecido ao usuário para auxiliar a detectar problemas, com um sistema automatizado, capaz de realizar testes para validar um produto.

⁴ DEEP SEA é um produto da Deep Sea Electronics, empresa Inglesa, cuja mesma é uma das maiores fabricantes mundiais de controladores de geradores, controladores de chave de transferência automática, carregadores de bateria e controladores de veículos e fora-de-estrada. www.deepseapl.com/about.

geradores dentro do mesmo sistema (DEEP SEA, 2018). Na Figura 3.1 tem-se a visão frontal e posterior do microcontrolador DSE8620.

Figura 3.1 - Microcontrolador DSE 8620

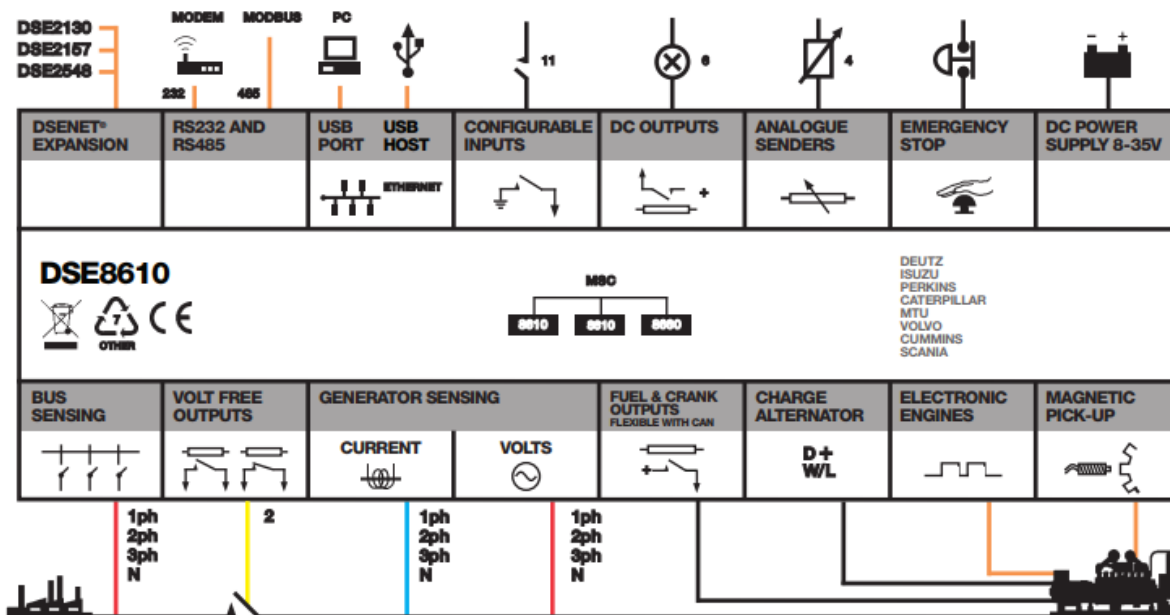


Fonte: Adaptado de DEEP SEA (2018).

Na vista posterior do microcontrolador, podem ser vistas as portas de comunicação *Modbus* (NATIONAL INSTRUMENTS, 2018) que serão utilizadas para comunicação entre o microcontrolador e do *software* supervisor.

Na Figura 3.2 é apresentado os módulos de configuração e comunicação que o modelo DSE 8620 comporta para os processamentos.

Figura 3.2 - Diagrama de Módulos da Deep Sea



Fonte: Adaptado de DEEP SEA (2018).

2 METODOLOGIA

O presente trabalho tem como metodologia a pesquisa experimental, na qual através dos conteúdos desenvolvidos nas disciplinas do curso de tecnólogo em automação industrial, concomitantemente com a minha experiência na área de aplicação e dimensionamento técnico de grupos geradores, se realizará a concepção e implantação de uma plataforma de testes, do tipo giga de testes de campo.

Uma giga de teste, é um modelo de dispositivo bastante utilizado na indústria, para verificar o funcionamento de um produto sobre um determinado aspecto. Assim, a giga servirá para coleta de dados e interpretação deles em um grupo gerador de energia, para serem comparados à um escopo de requisitos técnicos, previamente configurados e modelados.

Uma vez com o grupo gerador instalado em uma carga industrial, será conectado a giga de testes para análise e monitoramento. Em seguida, é colocado o gerador em partida, para ele entrar em funcionamento e gerar as grandezas elétricas as serem monitoradas.

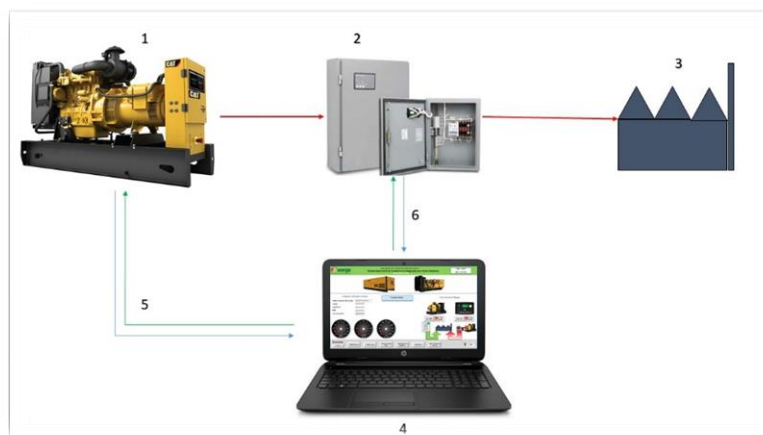
Com o gerador em funcionamento e devidamente conectado a giga de testes, através de um protocolo de comunicação Modbus entre o microprocessador DSE8620 e o *software* supervisor Indusoft, devidamente parametrizado e configurado com os requisitos padrões recomendados de fábrica, ele fará uma leitura e interpretação dos dados coletados.

A giga de testes deverá ser capaz de, com a análise dos dados obtidos, ser capaz de compará-los a um banco de dados com referências padrões, e informar se as configurações do grupo gerador estariam de acordo ou necessitando intervenção nos parâmetros de controle e geração.

Uma vez com os dados previamente analisados e aprovados, é capaz de gerar um relatório com os dados colhidos, relatando o operador, parâmetros iniciais, os parâmetros alterados finais e as características da carga no momento de configuração do gerador, realizando assim um banco de dados para consultas futuras.

Na Figura 3.3 é demonstrado como a giga de teste atua no sistema implementado.

Figura 3.3 - Diagrama ilustrativo do projeto



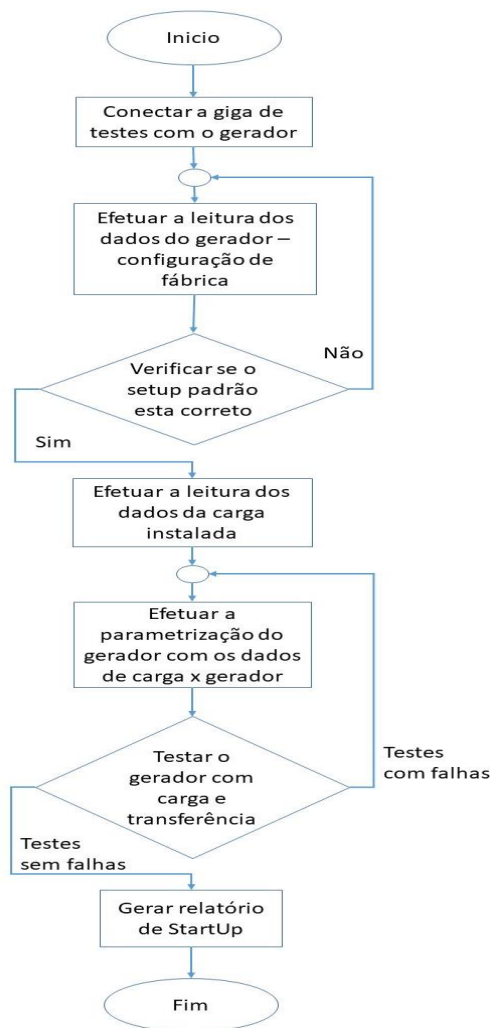
Fonte: Autor (2018).

Nesse diagrama, os componentes enumerados correspondem respectivamente:

- a) componente 1: grupo motor gerador, responsável pela geração de energia elétrica alternativa, em caso de anomalia no fornecimento de energia elétrica da concessionária para a carga instalada;
- b) componente 2: quadro de transferência automático com o controlador microprocessado DEEPSEA 8620, responsável pelo gerenciamento de fornecimento de energia elétrica à carga instalada, monitorando a rede da concessionária e o gerador, alternando o fornecimento de energia, quando necessário;
- c) componente 3: carga instalada e alimentada pela concessionária;
- d) componente 4: giga de teste implementada com o *software* supervisor da *Indusoft*, desenvolvida pelo autor para interação com o gerador, quadro de transferência e leitura dos parâmetros de carga instalada, alimentada pela concessionária;
- e) componente 5: conexão via protocolo de comunicação industrial *MODBUS* entre grupo gerador e giga de testes;
- f) componente 6: conexão via protocolo de comunicação industrial *MODBUS* entre quadro de transferência e giga de testes.

Um fluxograma do processo foi editado para melhor interpretação das etapas a serem efetuadas em sequência pela giga de testes. Neste fluxograma pode-se verificar as etapas em que o teste é feito, em caso de não estar em concordância com os parâmetros estabelecidos, esta etapa deve voltar e ser refeita, até estar em concordância com os parâmetros. Isso é demonstrado na Figura 3.4.

Figura 3.4 - Fluxograma da giga de teste



Fonte: Autor (2018).

Para o início da coleta de dados e resultados, primeiramente deverá ser posto o grupo gerador em funcionamento, para leitura dos dados em que ele foi parametrizado na fábrica, como modelo, potência aparente, tensão, frequência e corrente de proteção. No segundo momento, deverá ser efetuada a leitura da carga instalada e alimentada, neste momento pela concessionária. Os mesmos parâmetros de grandezas são lidos. Em terceiro, é efetuada a configuração e inserção dos dados de *startup* do gerador pela giga de testes.

Toda leitura de dados do gerador, da carga e da configuração do gerador ocorre através do protocolo de comunicação industrial Modbus, um cabo físico que é conectado ao microprocessador DSE8620 e ao *notebook*, na qual já possui o software supervisor já instalado. Com o início da transmissão de dados, com os endereçamentos de protocolos

já devidamente configurados, o *software* supervisorio iniciará a coleta dos dados que serão gerados pelo grupo gerador de energia.

A Figura 3.5 mostra o gerador e seu quadro de transferência, com o controlador DSE 8620 e as contactoras de transferência de energia entre gerador e concessionária, para a carga instalada.

Figura 3.5 – Gerador, controlador DeepSea 8620 e o quadro de cargas da concessionária



Fonte: Autor (2018).

Com os dados fornecidos do gerador, coletados via protocolo de comunicação Modbus, o *software* implementado da Indusoft, será capaz de interpretar os mesmos, comparando-os com um modelo referencial de dados.

Dentro da configuração do *software* supervisorio desenvolvido, constam sete telas de acesso e configurações. Cada tela possui uma função e tarefa distinta, na qual deve ser seguida para a correta execução dos testes de configuração e parametrização, tanto do gerador, como da carga atendida e pelo quadro de transferência automático.

Na Figura 3.6 demonstra a tela inicial do supervisorio desenvolvido para esta aplicação da giga de testes.

Figura 3.6 - Tela inicial do *software* supervisorio desenvolvido



Fonte: Autor (2018).

Na tela de configuração, há um banco de dados padrão que serve de referencial de consulta, na qual constará os dados de alguns modelos de grupos geradores previamente cadastrados. Na Figura 3.7 demonstra a tela e a consulta a um modelo previamente cadastrado para consulta, assim como a tela de configuração de carga, que quando lida, fornece os dados de grandezas dela.

Figura 3.7 - Tela de configuração padrão do gerador e configuração de carga



Fonte: Autor (2018).

Na tela de configuração do gerador, foi criado por duas conexões, via *Link DDE*⁵ e via Modbus. A conexão via Modbus ocorre pelo cabo físico de conexão via protocolo *MODBUS*. Já a conexão via *Link DDE*, foi criada para ser uma contraprova durante os testes do *software* supervisorio, pois permite que seja alterado os dados via planilha Excel e automaticamente seja alimentada no *software* supervisorio. As duas telas possuem o mesmo ambiente de navegação e informações.

⁵ O link DDE é uma forma de comunicação que permite que outros programas (exemplo: Excel) tenham acesso a banco de dados em real time.

Para atuação da Giga de Testes, foi implantado alarmes, na qual efetua a leitura dos dados incorretos e solicita intervenção do operador para correção, conforme a Figura 3.8.

Figura 3.8 - Tela de configuração do gerador a ser parametrizado, com alarmes

Fonte: Autor (2018).

Através da coleta efetuada pelo supervisório e sua comparação dos dados, o *software* supervisório é capaz de interpretar e analisar os resultados. Caso haja divergência entre os valores gerados e emulados, o *software* irá emitir um alarme, se fazendo necessário a intervenção e correção do parâmetro apontado como divergente.

Uma vez estando todos os dados de forma correta, será emitido um relatório com os mesmos, e salvos em um banco de dados, para que possa permitir sua leitura e uso eventual, em caso de necessidade de consulta aos dados implantados na configuração inicial do grupo gerador.

3 RESULTADOS E ANÁLISE

Com a devida implementação da giga de testes no grupo gerador, foram efetuados os testes iniciais.

A configuração da carga instalada e atendida pela concessionária CEEE⁶ compreendia a seguinte configuração:

- a) alimentação de energia elétrica em média tensão 13,8kV;
- b) transformador rebaixador na potência de 112,5kVA com secundário em 380/220V;
- c) única entrada de energia, efetuando apenas uma leitura de consumo;
- d) carga de iluminação, condicionadores de ar e CPD;
- e) disjuntor de proteção da entrada de 175 amperes;
- f) demanda contratada da concessionária de 70kW;
- g) não está prevista aumento de demanda e carga para os próximos 24 meses.

Com base nestes dados, aplica-se alguns dos parâmetros de dimensionamento de Grupo Gerador para atendimento da carga, como relacionado a seguir:

- a) o grupo gerador a ser dimensionado para atendimento deverá ser trifásico, com alimentação em baixa tensão em 380/220V;
- b) o disjuntor de proteção do cliente é de 175 amperes, logo pode-se calcular a potência média estimada, aplicando a Lei de Ohm, na qual se multiplica a corrente pela tensão, e conseqüentemente por raiz de 3, pois a tensão é trifásica, conforme a equação (3.1).

$$Pe = I \cdot V \cdot \sqrt{3} \quad (3.1)$$

$$175A \cdot 380V \cdot \sqrt{3} = 115,04 W$$

Com a potência *prime* de 115kW, se aplica o Fator de Potência comum da concessionária de energia elétrica, ou Cosseno φ , que é de 0,92, para calcular a potência aparente conforme a equação (3.2):

$$Pa = Pe / \text{Cos } \varphi \text{ rede} \quad (3.2)$$

$$98,610 W / 0,92 = 125 kVA$$

Com as potências máximas médias aparente de 125kVA, potência ativa de 115kW de carga instalada, se faz necessário atender ao Item 4.1 do RIC da CEEE em MT. – Regulamento de Instalações Consumidoras em média tensão⁷, no qual descreve que o fornecimento de energia elétrica deve ser em média tensão quando a carga instalada da unidade consumidora for superior a 75kW e a demanda contratada for igual ou inferior a 2.500kW, ou quando a unidade consumidora, com carga instalada superior a 50kW, possuir cargas e/ou equipamentos cujo funcionamento cause perturbações na rede, se alimentados em tensão secundária de distribuição.

⁶ CEEE é a abreviatura de Companhia Estadual de Energia Elétrica. Concessionária elétrica do estado do Rio Grande do Sul.

⁷ Disponível em: http://www.ceee.com.br/pportal/ceee/Archives/Upload/RICMT-VER_03_70705.pdf.

Nesses casos, deve-se efetuar cálculo de demanda e contratação dela.

Desta forma, na instalação analisada, há uma demanda projetada, calculada e contratada de 70kW. Na Figura 3.9 mostra a tabela do RIC para cálculo de demandas.

Figura 3.9 - Anexo A do RIC MT da CEEE para cálculos de fatores de demanda

26

RIC/MT – versão 03 – Junho/2018



ANEXO A – FATORES DE DEMANDA E CARGA TÍPICOS

RAMO DE ATIVIDADE DA EMPRESA	CARGALIGADA	FD	FC
SERVIÇOS COMERCIAIS			
01 - Armazéns gerais (silo e armazém; depósito de mercadorias; depósito de gêneros alimentícios; armazém de café e cereais; depósito e distribuição de petróleo e derivados)	Até 40 kW Acima de 40 kW	0,44 0,24	0,34 0,33

Fonte: Adaptado de CEEE (2018).

Com estas características, foi dimensionado um grupo gerador com potência de 150kVA e 120kW em regime *prime*, ou 165kVA e 132kW em regime *modo de espera*, salientando que o cosseno ϕ do grupo gerador é de 0,8, diferente do 0,92 da concessionária. A transferência é do tipo aberta, ou seja, não faz paralelismo com a concessionária. Nesta situação não se faz necessário atendimento aos requisitos da NTD-00.024⁸ CEEE – Procedimento de Distribuição – Paralelismo momentâneo de gerador com o sistema primário de distribuição até 25kV, com operação em rampa.

Com a implantação de todos os parâmetros e periféricos, a giga de testes começou a efetuar a leitura dos dados do gerador e da carga conforme projetada. A giga foi capaz de ler, interpretar e analisar os dados colhidos.

Durante a leitura dos dados de configuração de fábrica do gerador, a giga de testes foi capaz de interpretar os parâmetros configurados previamente na fábrica. Os dados estavam corretos e em de acordo com a placa de identificação do gerador. Havendo necessidade de consulta e alteração, a giga de testes conseguiu acessar ao banco de dados previamente já inserido e cadastrado com os dados das demais configurações, padrões de fábrica dos geradores.

⁸ Disponível em http://www.cee.com.br/pportal/cee/Archives/Upload/NTD-00.024%20Paralelismo%20moment%20C3%A2neo%20de%20gerador%20com%20o%20sistema%20prim%20C3%A1rio%20at%20C3%A9%2025%20kV_%20em%20rampa_19202.pdf.

Na etapa de configuração da carga, a giga de testes foi capaz de ler as características da carga instalada. Efetuou a leitura correta de tensão e corrente nominais. A potência do transformador deve ser inserida manualmente. Mesmo assim, a giga é capaz de interpretar se os parâmetros estão corretos e informar qual deveriam ser os parâmetros adequados.

Com a devida leitura dos parâmetros de configuração do gerador e a leitura de carga, é configurado o gerador para atendimento das cargas instaladas e dimensionadas para atendimento via gerador. São analisados neste caso as grandezas de corrente, tensão, potência aparente gerada (kVA), frequência e RPM. Caso as configurações já estivessem corretas, nenhuma ação é necessária.

Nesta instalação, a giga de testes não identificou erros, validando assim as configurações e parâmetros inseridos e analisados. No *software* simulador foi instalado também uma tela de controle analógico, para que caso haja picos, mesmo que momentâneos, em alguma grandeza, que esta possa ser facilmente identificada. Assim mesmo está configurada uma tela de alarme para que acuse um distúrbio e anomalias. Durante a emulação não houve estes tipos de ocorrência. No simulador, foi propositalmente alterado alguns parâmetros para testar os alarmes. Quando houve, foram alarmados e pedindo a interferência e correção dos dados.

Através do protocolo de comunicação *Modbus* implementado na programação do *hardware* em comunicação ao *software* supervisor desenvolvido, o sistema conseguiu com êxito se comunicar e trocar informações, possibilitando leitura e escrita dos dados. Para testar sua confiabilidade de informações, foram efetuados testes também com um simulador de comunicação *Modbus*, na qual mostrou que a comunicação física e simulada estava efetuando as mesmas leituras e escritas.

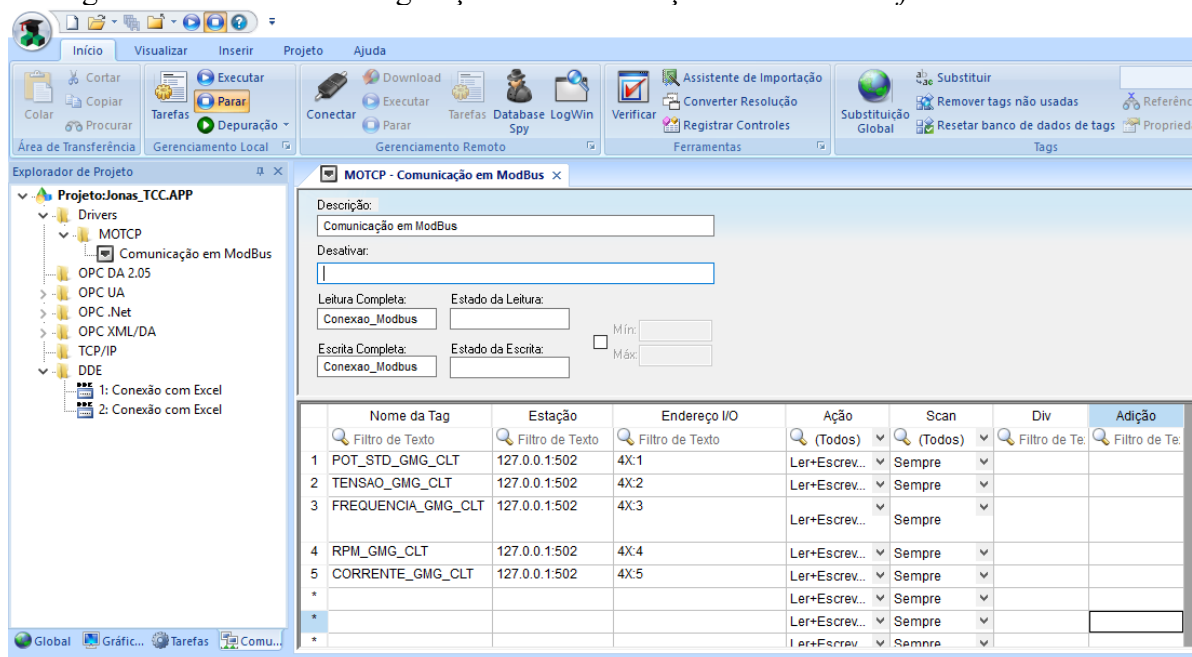
O *software* supervisor apresentou desempenho satisfatório. A plataforma da giga de testes foi projetada com sete telas de interação, de uma forma sequencial de acontecimentos, para que se facilite a operação e que houvesse uma lógica de interação dos dados. Ele se comunicou com o controlador do gerador Deep Sea 8620 via protocolo *Modbus*, interagiu e quando implementado nos *softwares* simulados, apresentou os mesmos resultados. Desta forma, o *software* supervisor desenvolvido conseguiu atender aos requisitos desejados de forma satisfatória.

Entretanto, como foi utilizado uma licença estudantil da *Indusoft*, ela disponibiliza um número limitado de *tags* de comunicação. Esta característica de configuração limitou a quantidade de parâmetros a serem analisados e monitorados no grupo gerador. Mas

mesmo com a quantidade de *tags* limitadas disponibilizadas, foi concentrado a utilização apenas nos parâmetros mais importantes e notáveis para as devidas parametrizações e controles do gerador.

Para a comunicação via protocolo *Modbus* foi criado um driver de comunicação dentro do *software*, relacionando os dados de leitura com o caminho a ser comunicado, com uma via de leitura e escrita, através dos endereços criados e relacionados com o microcontrolador DSE 8620, conforme a Figura 3.10.

Figura 3.10 - Tela de configuração de comunicação Modbus no *software* Indusoft



Fonte: Autor (2018).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em muito tem-se observado o crescimento ascendente da automação industrial e a constante busca por novas tecnologias em diversos mercados industriais. Apesar do recente período de crise político-econômica em que o Brasil está enfrentando, as perspectivas de recuperação da atividade econômica dão sinais de otimismo para as empresas, sendo que a retomada aparentemente se dará de forma mais lenta e gradual, porém de forma concisa e concreta. Em um mercado hoje totalmente globalizado e interligado, quando falamos em internet das coisas, indústria 4.0, interações entre homem e robôs e em alguns casos, os robôs atuando de forma autônoma, as repercussões de

buscas por novas tecnologias estão em pauta de qualquer inovação. As reproduções das informações, embora positivas ou negativas, repercutem para uma evolução cada vez mais sem volta.

Assim como ocorre em outros setores, a indústria da geração de energia é um segmento em constante desenvolvimento. A busca constante por aperfeiçoamento de produtos e processos tendem a atender aos anseios do consumo energético, com produtos cada vez mais eficientes e eficazes.

A padronização e automação de processos foi o motivador da realização deste projeto. Com a finalização dos estudos aplicados, pode-se projetar, implementar e perfectibilizar a implantação de padronização e automação do processo de conferência técnica do grupo gerador, em uma entrega técnica.

Com uma visão macro do processo, pode-se observar que a tarefa efetuada manualmente é muito restrita e despende um tempo que acaba se tornando muito oneroso. A implantação da giga de testes tornou o processo muito mais ágil, confiável e seguro, uma vez que com o software supervisor, a leitura e interpretação dos dados se dá de forma automática, e diminui a possibilidade de erros. A geração de dados para consultas futura proporciona a possibilidade de rastreabilidade do produto, processo e pessoas.

Este trabalho de conclusão pode-se demonstrar que é factível e possível automatizar processos. A implantação da giga de testes é um fato claro e notório. Apesar de não ter sido encontrados trabalhos com o mesmo viés de pesquisa, a giga de testes tem se mostrado um amplo campo de estudos para confecção e validação de produtos e processos.

O trabalho contou com muita informação técnica, alguns colhidos diretamente nos fabricantes dos produtos. Entretanto, não basta apenas ter os dados, é necessário saber extraí-los e utilizados com sabedoria. Cito o filósofo Mario Sergio Cortella, “...não basta ter a informação, é necessário saber o que fazer com ela”. Partindo desta premissa, com os conhecimentos adquiridos durante os anos de estudos na universidade, conversa com professores e alunos, foi possível planejar, executar e concluir com êxito esta atividade.

Profissionalmente este projeto proporcionou um crescimento em diversas áreas e melhor interação entre os departamentos da empresa, pois proporciona uma melhor comunicação das informações, de forma ágil, rápida, eficiente e eficaz. Os departamentos se envolvem desde a prospecção, venda, aplicação e implantação técnica, pós-venda e entrega técnica, todos passando pelo planejamento, operação e coordenação da execução planejada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CRIXEL, Jonas Gidion. **Estudo de giga de testes aplicada a configurações padrões de grupos geradores de energia de combustão a diesel**. 2018. 72 f. Monografia (Graduação) - Curso de Tecnólogo em Automação Industrial, Universidade Estadual do Rio Grande do Sul - Uergs, Porto Alegre, 2018. Disponível em: <https://repositorio.uergs.edu.br/xmlui/handle/123456789/2354>. Acesso em: 30 jun. 2023.

DEEP SEA. **DSE G8 SERIES**. 2018. Disponível em: www.deepseapl.com/about. Acesso em 8 maio de 2018.

DORF, Richard C. Bishop, Robert. **Sistemas de Controle Moderno**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

FITZGERALD, A.E; KINGSLEY, Charles Jr; UMANS, Stephen D. **Máquinas Elétricas**. São Paulo: Bookman, 2006.

FRANCHI, Claiton Moro. **Acionamentos Elétricos**. São Paulo: Editora Érica, 2008.

FRANCHI, Claiton Moro; CAMARGO, Valter Luís Arlindo de. **Controladores Lógicos Programáveis: Sistemas Discretos**. São Paulo: Érica, 2008.

GEORGINI, M. **Automação Aplicada Descrição e Implementação de Sistemas Sequenciais com CLPs**. 6. ed. São Paulo: Editora Erica 2006.

NATIONAL INSTRUMENTS. **O protocolo Modbus em detalhes**. 2017. Disponível em: <http://www.ni.com/white-paper/52134/pt/>. Acesso em: 15 set. 2018.

TANENBAUM, Andrew S. **Redes de Computadores**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003.
WEG. DT 5 – **Características e Especificações de Geradores**. Disponível em: <http://catalogo.weg.com.br>. Acesso em: 15 set. 2018.

4

MANUTENÇÃO INTELIGENTE: PLATAFORMA PARA AQUISIÇÃO DE DADOS EM ATUADORES ELÉTRICOS

Rodrigo Bastos de Souza

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo sintetiza o trabalho de conclusão de curso de Souza (2018), ao investigar as características de manutenção inteligente no meio fabril.

Em meados do século XVIII, na Grã-Bretanha, deu-se início ao processo de industrialização, no qual foram introduzidas máquinas totalmente mecanizadas para alguns processos de fabricação, como: moagem, tecelagem e conformação metalúrgica. Esse novo meio de produção chamou-se de Revolução Industrial. Utilizava como sua principal tecnologia a força das águas ou roda d'água, transformando a energia cinética de fluidez (de um córrego ou canal) em energia mecânica, transmitindo-a para as máquinas realizarem trabalho (Perez, 2002).

Ainda segundo o Perez (2002), por volta de 1829, a Grã-Bretanha e os Estados Unidos da América iniciaram a Idade do Vapor, no qual foram instaladas inúmeras linhas férreas pelos seus territórios, interligando diversas localidades. Isto fomentou a indústria metalúrgica, que veio a modernizar-se, utilizando-se de máquinas que realizavam processos de produção contínuos, para produção de lingotes de ferro e seus acessórios. Essa tecnologia impulsionou a utilização de vapor pelas novas fábricas, fez crescer a extração do carvão mineral, a fabricação de navios transportadores de minérios, a construção de portos e abrangência de serviços postais e de encomendas.

Ao final do século XIX, com a moderna tecnologia do vapor para impulsionar geradores e a criação de hidrelétricas para grande geração de eletricidade, houve uma enorme expansão nos seguimentos industriais, pois foi possível a invenção e utilização de diversas máquinas para realizarem o trabalho, nos seguimentos de produção de aço para motores, fábricas de cobre e acessórios, indústria de alimentos enlatados, construção civil e de pavimentação e indústrias químicas. Essas transformações possibilitaram em

1908 a criação da indústria automobilística de produção em massa nos Estados Unidos e espalhando-se pela Europa.

Até antes da segunda Guerra Mundial (1939-1945) não havia um conceito, ideologia ou técnica de manutenção em máquinas ou equipamentos. O que se fazia era apenas a lubrificação com graxas e substituição de peças quebradas, ou seja, uma manutenção totalmente corretiva. Segundo Kardec e Nascif (2007) para a produtividade econômica da época não era necessária uma esquematização de manutenção preventiva, por serem máquinas simples, robustas e superdimensionadas. Consertava-se apenas na quebra de algum componente.

Só após esse período de guerras a indústria sentiu o aumento massivo da necessidade de produtos pelas populações e a diminuição considerável da mão de obra na fábrica, fazendo com que fossem implementadas máquinas mais sofisticadas, que produzissem mais, sendo necessário um cuidado maior para garantir a funcionalidade destes equipamentos, introduzindo então o sistema de manutenção preventiva. Kardec e Nascif (2007) destacam também que as manutenções preventivas nos equipamentos eram feitas periodicamente, em intervalos definidos, mas causando perda de produtividade e tornando o custo muito elevado. A partir daí começou-se a pensar em um método de manutenção que proporcionasse maior flexibilidade para as manutenções e que não exigisse grandes custos com paradas de produção.

A partir de 1960 surgiu um tipo de manutenção baseado na predição de falhas, que através de medições com equipamentos adequados, torna-se possível prever quando uma falha irá acontecer e assim planejar a hora da manutenção, diminuindo os custos com paradas de produção e atuando necessariamente no local onde a manutenção precisa ser realizada, inferindo menor custo no processo. Mas naquela época não havia recursos computacionais e o planejamento era realizado de maneira totalmente manual e sem controle ou qualidade. Este método foi aprimorado entre os anos 70 e 80 já com meios informatizados e tecnologias de medição e detecção muito mais sofisticados, dando maior confiabilidade⁹ e disponibilidade¹⁰ aos equipamentos e ainda proporcionando maior qualidade no rigor da manutenção.

⁹ Confiabilidade é a capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições especificadas, durante um dado intervalo de tempo (NBR 5462, 2018).

¹⁰ Capacidade de executar uma certa função em um intervalo de tempo determinado, levando-se em conta os aspectos combinados de sua confiabilidade, manutenibilidade e suporte de manutenção, supondo que os recursos externos requeridos estejam assegurados (NBR 5462, 2018).

Com a evolução da eletrônica e sistema de tecnologia da informação, a partir de 1990, segundo Kardec e Nascif (2007), começou-se a pensar em outro método de manutenção, que focasse em falhas não previstas ou ocultas, não perceptíveis ao pessoal de operação e manutenção, surgindo então a manutenção detectiva.

Juntando todos estes conceitos de manutenção ao longo das décadas criou-se a engenharia de manutenção, que aborda todas as técnicas e diretrizes, bem como a estruturação dos setores industriais voltados para manutenção dos ativos em uma empresa.

Hoje, com a total globalização dos meios de produção, desenvolvimento de sistemas de informação baseados em inteligência artificial, aplicação total da automação industrial nos processos de produção e a internet das coisas, tornou-se possível a quarta revolução industrial (Schwab, 2016).

Lembrando que a primeira revolução (meados do século XVIII, Grã-Bretanha) baseou-se na mecanização de mão de obra manual, a segunda revolução (final do século XIX e início do XX) marcou a utilização da eletricidade em larga escala pelas indústrias, e a terceira revolução (a partir de 1960) chamada de digital ou do computador, caracterizada pelo emprego de sistemas informatizados nos meios de produção em geral, conforme consta em Schwab (2016).

Também chamada de Indústria 4.0, nome dado na feira de Hannover na Alemanha em 2011, esta quarta revolução industrial veio para causar uma mudança sistemática profunda. Ainda segundo Schwab (2016) essa nova tecnologia de produção não só afetará os meios industriais, mas também os meios sociais, pois tudo que fazemos em nossas rotinas irá mudar radicalmente e afetarão nossos padrões de vida e bem-estar. Um universo no qual sistemas virtuais e físicos estão integrados de forma global, flexibilizando a personalização de produtos e criação de novos modelos operacionais.

Seguindo esta revolução, os sistemas de manutenção também estão evoluindo de maneira a aumentar a produtividade, confiabilidade, diminuir custos e garantir a segurança dos operadores e técnicos de máquinas e equipamentos. Portanto, a manutenção inteligente engloba todas estas técnicas já mencionadas e acompanha o avanço da indústria 4.0, tendo no presente trabalho um exemplo de como esta tecnologia pode ser construída e implementada na indústria.

Com a quarta revolução industrial em vista, os meios de manutenção também estão evoluindo, e seguindo esta transformação, também visando diminuir custos, tempo de reparo e aumentar a disponibilidade dos equipamentos industriais.

Os custos para manutenção corretiva oneram os meios de produção, pois agregam o fato de que o sistema produtivo para que a manutenção ocorra. A manutenção preventiva demanda um custo de inspeção, onde mesmo que o equipamento ou máquina esteja em pleno funcionamento, requer que uma pessoa faça inspeção para se certificar disto, e isto é um custo. E a manutenção preditiva se baseia em especificações do fabricante dos componentes, sendo recomendada sua substituição, mesmo que um componente específico ainda tenha condições de uso, mas por recomendação é substituído, gerando um custo que poderia ser evitado.

Por estas razões, um problema que os meios de manufatura enfrentam é quanto a manter os equipamentos e máquinas em condições de produção, sem que haja necessidade de intervenção durante o processo produtivo e maximizando a vida útil de cada componente do sistema.

O presente trabalho aborda a implementação de uma plataforma para um sistema de manutenção inteligente, que tratará como foco o sensoriamento de um atuador elétrico para capturar dados que sirva na prevenção de falhas.

Comum em muitas das máquinas e equipamentos, o atuador elétrico (motor elétrico, solenoide, servo, entre outros), dispositivo que realiza trabalho (movimento) através da transformação da energia elétrica em energia mecânica, é um dos mais importantes objetos dentro de uma indústria. Através dele é possível movimentar cargas, transferir força, vazar e deslocar fluídos, liberar gases, posicionar elementos, entre outros trabalhos. Por conta disto é importantíssimo que sejam realizadas inspeções e rotinas de manutenção nestes atuadores, a fim de detectar falhas em seus componentes, garantindo seu funcionamento durante os processos de produções industriais.

Com a chegada da indústria 4.0, é vital que um moderno equipamento tenha um sistema de manutenção sofisticado, que acompanhe estas tecnologias, tendendo a proporcionar maior confiabilidade e disponibilidade ao equipamento, inferindo na redução de custos de produção, devido às paradas com manutenções e reparos.

Uma das técnicas para monitoramento de atuadores é a medição da corrente elétrica utilizada. Com esta medição é possível verificar as variações de níveis de intensidade da corrente e prever problemas de superaquecimento e sobrecarga do atuador.

Também muito comum é detectar a vibração durante o funcionamento. Fadiga e desgaste de mancais e rolamentos interferem no desempenho e podem causar problemas de sobrecarga, superaquecimento e desgaste por atrito em outras partes do motor ou nos componentes da máquina em que está sendo utilizado.

A temperatura é uma das grandezas mais importante a serem monitoradas em máquinas e equipamentos. É importante que os equipamentos estejam trabalhando dentro da faixa de temperatura recomendadas pelos fabricantes. Um motor elétrico que trabalha em ambiente sem refrigeração ou sem ventilação sofre com superaquecimento e causa todos os outros problemas mencionados anteriormente. É vital para que o atuador tenha uma longa vida útil que sejam monitoradas suas variações de temperatura ao longo do processo industriais, ao qual são empregados.

Como hipótese deste estudo se aponta que um sistema que possa monitorar as variáveis de temperatura, corrente elétrica e vibração em atuadores elétricos, aliado a um sistema computacional embarcado e sistema supervisório, permite a predição de uma falha, identificando o momento em que a falha irá ocorrer, propiciando a programação da manutenção, sem prejuízos ao sistema produtivo e maximizando a vida útil dos componentes.

Portanto, este projeto tem como objetivo principal, implementar um sistema embarcado de coleta de dados para um sistema de manutenção inteligente, com a placa de desenvolvimento de *software* e *hardware* Arduino, sensores, e *software* de supervisão de processos, que monitoram o funcionamento de atuador elétrico e seu desempenho quanto as possíveis falhas de operação, fazendo a predição dela.

A principal tecnologia aplicada neste trabalho é a manutenção inteligente, bem próxima ao conceito de manutenção detectiva, entretanto o que o difere é a capacidade de realizar a predição de falha do equipamento, usando características detectivas com meio embarcado e atuando como sistema de proteção a processos de fabricação e componentes.

São instalados sensores nos equipamentos ou componentes, que realizam seu monitoramento ao longo do tempo. Fazendo o processamento destes sinais com o sistema embarcado, que através de programa pré-estabelecido, possibilita predizer a falha, assim podendo determinar quando a manutenção deverá ser realizada (Espíndola, 2011).

Esta ação pode ser uma parada de manutenção corretiva programada, desmontando o equipamento e substituindo a peça que apresenta defeito, tudo isso dentro de um período de parada programada ou pode ser uma manutenção preventiva, na qual o técnico realiza alterações de parâmetros de funcionalidade do equipamento monitorado (via CLP – Controlador Lógico Programável - por exemplo), ou ativa o sistema de lubrificação de mancais e rolamentos, a fim de solucionar o problema detectado.

Como se pode perceber na Figura 4.1, a ilustração exhibe um braço robótico sendo monitorado em um sistema supervisório ou IHM (Interface Humano-Máquina),

apresentando gráficos que servem de parâmetros na avaliação do funcionamento do equipamento.

Figura 4.1 – Ilustração de manutenção inteligente em um braço robótico



Fonte: Autor (2018).

2 METODOLOGIA

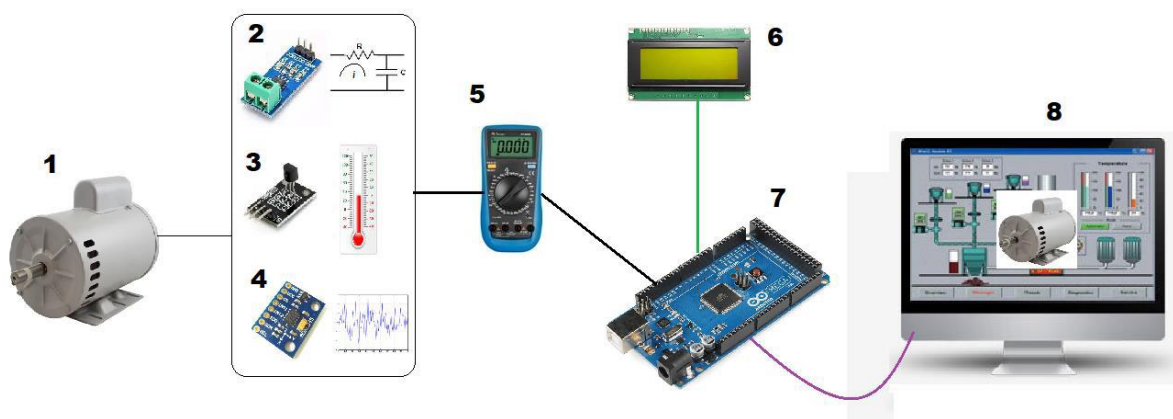
Devido a ampla aplicabilidade deste tipo de projeto, sistemas de manutenção inteligente podem possuir várias aplicações com diferentes métodos, em vários componentes industriais. Portanto, foi resumido a uma aplicação industrial para monitoramento das atividades em um atuador elétrico. Neste caso foi utilizado um motor monofásico ligado em tensão elétrica de 127V e de 165W de potência, cuja corrente elétrica, vibração e temperatura são medidas via sensores e monitoradas por sistema supervisão, entretanto poderia ser utilizado qualquer outro tipo de atuador elétrico, que utilize corrente alternada até 5A.

Os sinais medidos são enviados via protocolo de comunicação industrial *Modbus*, para o sistema supervisão, no qual são gerados gráficos de tendências e alarmes (dependendo do nível dos sinais atingidos no sensoriamento). Os sinais não estão inter-relacionados, pois esta plataforma servirá como desenvolvimento de projetos futuros de pesquisadores e estudantes, que através dos dados obtidos poderão fazer uma correlação entre os sinais medidos em atuadores elétricos e enfim determinar a que tipo de falha eles caracterizam, assim aprimorar esta planta para predição de falhas e programação da manutenção.

Cada componente foi testado individualmente com o Arduino, garantido a funcionalidade do programa e sensibilidade dos sensores. Após, todos sensores foram

unificados, conforme Figura 4.2, em um único programa. Na sequência, foi inserido o protocolo de comunicação para que os dados fossem visualizados no supervisório. A tela do sistema foi implementada por último, com as informações dos sensores, gráficos de tendências e alarmes.

Figura 4.2 - Diagrama ilustrativo da planta do projeto



Fonte: Autor (2018).

Neste diagrama são especificados cada componente, sendo eles:

- a) componente 1: motor elétrico, responsável pela realização de trabalho;
- b) componente 2: sensor de corrente elétrica invasivo;
- c) componente 3: sensor de temperatura integrado;
- d) componente 4: sensor de vibração;
- e) componente 5: multímetro digital, utilizado como medidor de referência;
- f) componente 6: *display* matricial para indicação de mensagens locais ao usuário;
- g) componente 7: eletrônica embarcada com *Arduino* MEGA, responsável pela coleta de dados e transmissão por rede industrial ao sistema supervisório;
- h) componente 8: sistema supervisório, implementado através do *InduSoft*, que fornece graficamente a interação com o operador, indicando a predição das falhas.

3 RESULTADOS E ANÁLISE

Para coleta dos resultados foi conectado o multímetro em série com a ligação do motor, que passa pelo sensor de corrente ACS712-05B, a fim de medir a corrente elétrica

que passa pelo motor, fazendo a leitura na escala de 20A do aparelho, pois a variação vai de 0A até 1,3A.

Já para coleta das informações de temperatura, é colocado o multímetro na escala de temperatura e seleciona-se a leitura em graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$), utilizando no lugar das ponteiros, que antes mediam a corrente elétrica, um sensor de temperatura termopar do tipo K. A temperatura é mostrada no *display* do aparelho.

A Figura 4.3 mostra esta ligação do sensor de corrente e do termopar, para medição.

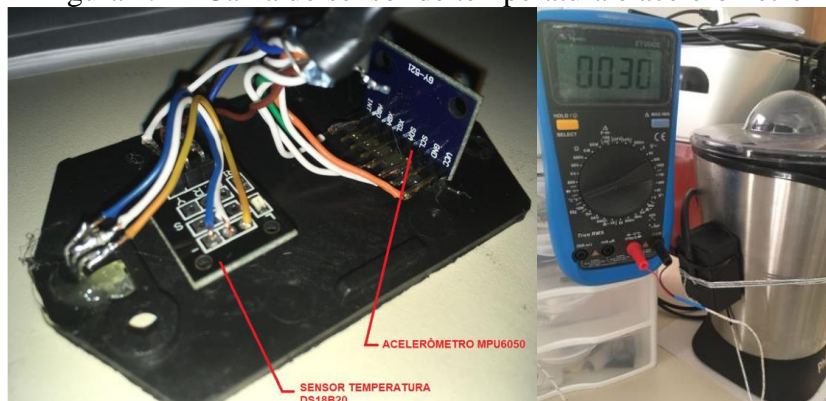
Figura 4.3 - Ligação em série do multímetro com o sensor de corrente e sensor de temperatura



Fonte: Autor (2018).

No motor são fixados o acelerômetro MPU6050 e o sensor de temperatura DS18B20, que transmite as informações através de um cabo de pares trançados de 8 vias (4 pares) até as portas de ligação do *Arduino*. Na Figura 4.4 se percebe a conexão dos sensores de temperatura e vibração com o motor, elemento final de trabalho.

Figura 4.4 – Caixa do sensor de temperatura e acelerômetro



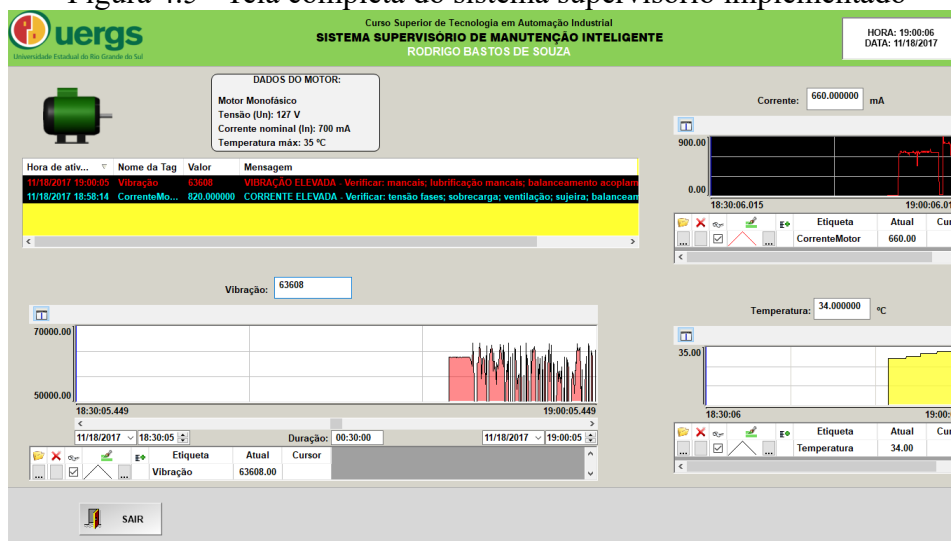
Fonte: Autor (2017).

A caixa dos sensores conectada no motor foi fixada com um elástico, para que pudesse ser movimentado de acordo com a necessidade de regulagem de posição.

Para análise e interpretação dos resultados se conectou o *hardware* com o sistema supervisor e verificou-se os valores lidos comparado aos apresentados pelo *display* e multímetro.

Um sistema supervisor foi implementado na ferramenta computacional *InduSoft*, que recebe os sinais de temperatura, corrente e vibração oriundos do Arduino e indica graficamente estes valores. A Figura 4.5 apresenta a tela completa do sistema supervisor criado para o trabalho.

Figura 4.5 - Tela completa do sistema supervisor implementado

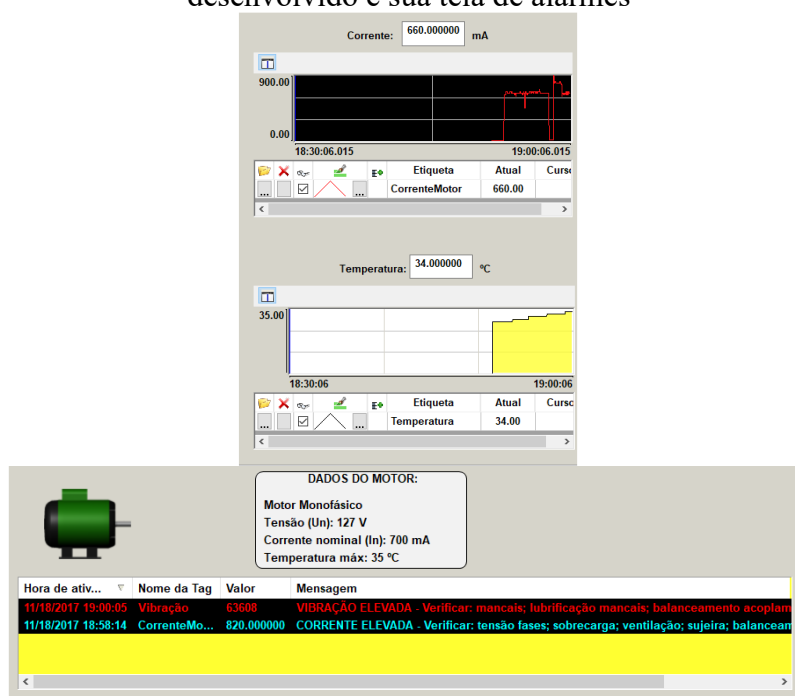


Fonte: Autor (2018).

O sistema supervisor, trabalhando como mestre, faz a requisição das informações ao módulo microcontrolador Arduino, configurado como escravo, por protocolo *Modbus RTU*. Quando os valores de corrente elétrica, temperatura e vibração sofrerem grandes variações, com tolerâncias pré-estabelecidas no gráfico de tendências, irá apresentar ativação de alarmes, informando uma possível falha ou tendência a falha no motor monitorado. Para o caso, se a corrente elétrica ultrapassar o valor de 700mA e a temperatura o valor de 35°C irá surgir o alarme na tela, informando a possível falha que ocasionou isso.

A Figura 4.6 apresenta a leitura de corrente elétrica e a temperatura do motor, em uma tela do sistema supervisor implementado.

Figura 4.6 - Leitura de corrente elétrica e temperatura na tela do supervisor desenvolvido e sua tela de alarmes



Fonte: Autor (2018).

O valor de vibração do acelerômetro também é apresentado na tela, sendo representado apenas leitura de um dos eixos (X, Y, Z), no caso o eixo X, com valores relativos a força G, conforme consta no *datasheet* do fabricante, não especificamente determinando uma unidade de medida, pois este o valor fornecido pelo acelerômetro define a posição de deslocamento angular, isto é, se colocar em uma superfície plana haverá um valor fixo na saída, se rotacionar 90° terá outro valor conforme a posição, se voltar rotacionando novamente -90° voltará ao valor anterior. Caso rotacionar 180° haverá o mesmo valor inicial só que com sinal negativo.

Com o multímetro, verificou-se a intensidade da corrente elétrica e a variação da temperatura (°C) para aferir o que está sendo apresentado no *display LCD 20x4*, validando a amostragem. A aferição de temperatura é realizada em comparação com a indicação no multímetro de referência. A Figura 4.7 apresenta a medição de corrente elétrica.

Figura 4.7 - *Display* apresentando mesmo valor de corrente elétrica do multímetro

Fonte: Autor (2017).

Os sinais adquiridos nos equipamentos são inseridos no módulo microcontrolador Arduino, que através do programa faz a conversão da amostragem e exibe no *display*. O sistema supervisorio, como mestre, faz a solicitação das informações ao Arduino, que é o escravo, através do protocolo de comunicação *Modbus*.

Para os sinais do sensor de vibração, conseguiu-se perceber no supervisorio, a variação gráfica de quando o motor está desligado e quando o motor está ligado. E verificou-se também que mesmo com o motor funcionando a vazio, esta variação não se distingue da variação quando o motor está com carga, ou seja, os valores de posição angular mudam muito quando o motor é ligado, em todos os eixos do acelerômetro, independente da carga, não sendo possível distinguir a diferença para comparar se a vibração está elevada ou normal.

Na Tabela 4.1 se pode perceber a variação das grandezas de temperatura, corrente e vibração do motor elétrico segundo a carga a que ele é submetido, quando pressionado manualmente seu rotor, que é seu propósito de funcionamento, indicando a possível falha ao longo do tempo.

Tabela 4.1 – Comportamento das grandezas medidas em função de aplicação de carga no motor

Tabela 2 – Comportamento das grandezas medidas em função de aplicação de carga no motor.						
Condição do Motor	Temperatura [° C] Início - Fim	Varição Temperatura / Tempo	Corrente elétrica [mA]	Vibração (sem unidade de medida)	Tempo	Possível falha
Sem carga	31,62 - 35,00	0,011266	706	0 a 5000	5 min.	SUPER AQUECIMENTO - Verificar: tensão fases; sobrecarga; ventilação; sujeira na carcaça.
Com carga	31,62 - 32,81	0,019833	793	0 a 5000	1 min.	funcionamento normal.
Pressionando o eixo até a corrente ultrapassar o valor de alarme (800mA)	31,62 - 32,38	0,025333	820	0 a 5000	30 s.	CORRENTE ELEVADA - Verificar: tensão fases; sobrecarga; ventilação; sujeira; balanceamento de fases;

Fonte: Autor (2018).

Os valores dos dados foram verificados no *display* e comparados com os valores do supervisor e do multímetro, com exceção do valor de vibração que foi lido apenas no supervisor, oscilando muito em todas as tomadas de teste com carga.

Após todos os sistemas estarem operando como esperado, os dados foram coletados e realizou-se a análise dos resultados.

Durante a leitura da corrente elétrica ocorreram pequenas e breves variações dos valores apresentados no *display*, em comparação aos lidos no multímetro, pois a sensibilidade varia em 22,79mA, ou seja, toda vez que o valor enviado pelo sensor de corrente ASC712-5B ao Arduino variar um dígito para mais ou para menos, irá acontecer a adição ou subtração de 22,79mA do valor apresentado no *display*.

Como exemplo, quando se lê o valor de corrente de 478,62mA o valor enviado do sensor ao Arduino é 533, se esse número subir brevemente para 534 devido a alguma ligeira oscilação do sistema, então o valor apresentado no *display* será de 501,41mA, que poderá retornar ao valor anterior ou diminuir mais.

A tela do sistema supervisor contempla a leitura apresentada no *display* e o alarme inserido funciona corretamente quando o valor ultrapassa o valor limite estipulado de 800mA, indicando falha de sobrecarga.

Para temperatura, o sensor do utilizado teve excelente desempenho em comparação aos valores medidos com o multímetro. Foi verificado o mesmo valor em graus Célsius (°C) nos dois sistemas, indicaram tanto a temperatura ambiente iguais quanto a variação que ocorria no motor durante o funcionamento.

No supervisor ficou bem clara a amostragem gráfica das variações de temperatura e com alerta de alarmes quando a temperatura ultrapassava o valor limite de 35°C, alarmando o superaquecimento, o que garante uma indicação de falha ao operador, antes que o motor entre em degradação.

Já na análise da vibração verificou-se que quando o motor se encontrava desligado o gráfico do supervisor mostrava muito pouca variação, praticamente uma linha reta de tendência, juntamente com amostra do *display*, que também apresentava valor com pouca alternância. Mas quando o motor era ligado e a variação ocorria bruscamente, o sinal ficava com uma frequência mais elevada, com amplitudes variadas e mesmo com distúrbios de vibração provocados propositalmente no eixo do motor, através da aplicação de carga. A vibração mostrada no supervisor não tinha diferença em comparação com a

sem carga. Assim, não sendo possível gerar um alarme confiável de vibração elevada, pois este era acionado várias vezes durante o funcionamento do motor com ou sem carga.

Através do protocolo de comunicação *Modbus* implementado na programação do *hardware*, o sistema conseguiu se comunicar e trocar informações, fornecendo os dados solicitados pelo supervisor (mestre) ao Arduino (escravo).

O sistema supervisor apresentou resultado satisfatório quanto a aparência do projeto, pois foi possível colocar todas as telas em uma única janela, que era a ideia inicial, fazendo com que o operador acompanhasse todo processo sem precisar trocar de telas.

Entretanto, a atualização de tela ficou a desejar, pois com o tempo de 1 segundo para atualização, o mínimo conseguido nas configurações de *software* do *InduSoft*. Os valores de amostragem ficaram um pouco lentos, mas não prejudicaram o desempenho de todo o sistema.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De uma maneira geral, este trabalho obteve resultado satisfatório na maioria dos objetivos especificados, ou seja, na leitura dos valores de corrente elétrica, na leitura de temperatura, na comunicação com protocolo *Modbus*, na tela do sistema supervisor com alarmes e na placa de desenvolvimento de *software* e *hardware* Arduino, sendo esta muito fácil de ser utilizada, bastando conectá-la ao computador inserir o programa.

O que não foi satisfatório foi a atualização de tela do supervisor e implementação do acelerômetro, itens que tem que ser revisados e aperfeiçoados na continuação do trabalho.

Durante as pesquisas relacionadas não se encontrou trabalho igual, com eletrônica embarcada, tela de supervisor e monitoramento das grandezas de temperatura, corrente e vibração, gerando alarmes de possíveis falhas, sendo então este trabalho um projeto base para um sistema mais complexo de manutenção inteligente de aquisição de dados e servindo para futuros estudos de aperfeiçoamento, podendo ser interligado a outras plataformas.

É recomendado ao pesquisador que utilizar este projeto como referência, a implementação de rede industrial *RS485* ou melhor. Também deve ser reprogramada a leitura do sensor de corrente elétrica para maior sensibilidade em baixas correntes ou

substituição por um meio não invasivo de aquisição de dados. Já o acelerômetro deve ser revisado em sua utilização ou substituído por outro tipo de sensor de vibração para dar melhor resposta ao que se deseja no trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR5462 DE 11/1994**. 2018. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/8044/nbr5462-confiabilidade-e-mantenabilidade>. Acesso em 23 abr. de 2018.

ESPÍNDOLA, Danúbia Bueno. **Uma abordagem baseada em modelo para integração e gerenciamento dos dados de sistemas de manutenção inteligente através do uso de técnicas de realidade mista**. 2011. 152f. Tese (Doutorado). Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2011.

FILIFELOP. **Acelerômetro e Giroscópio 3 Eixos 6 DOF MPU-6050**. 2017. Disponível em: <https://www.filieflop.com/produto/acelerometro-e-giroscopio-3-eixos-6-dof-mpu-6050/>. Acesso em 13 out. 2017.

FLIR. **Imagens Térmicas Flir para a Indústria da Manufatura**. 2017. Disponível em: <http://www.flir.com.br/instruments/electrical/display/?id=49526>. Acesso em: 15 nov. 2017.

FLUKE. **Aplicações de alicates AMperímetros**. 2017. Disponível em: http://support.fluke.com/find-sales/Download/Asset/4233498_0000_ENG_B_W.PDF. Acesso em: 15 nov. 2017.

GONÇALVES, Luiz Fernando. **Desenvolvimento de um sistema de manutenção inteligente embarcado**. 233 f. 2011. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2011.

KARDEC, Allan; NASCIF, Júlio. **Manutenção: função estratégica**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2007.

MODBUS, **MODBUS over serial line specificaton and implementation guide V1.02**. 2006. Disponível em: http://www.modbus.org/docs/Modbus_over_serial_line_V1_02.pdf. Acesso em: 03 dez 2017.

NATIONAL INSTRUMENTS. **O protocolo Modbus em detalhes.** 2017. Disponível em: <http://www.ni.com/white-paper/52134/pt/>. Acesso em: 02 out. 2017.

PEREZ, Carlota. **Finance and technical change: A long-term view.** 2004. Disponível em: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.154.2097&rep=rep1&type=pdf>. Acesso em 4 set. 2017.

SCHWAB, Klaus. **A quarta revolução industrial.** Trad. Daniel Moreira Miranda. São Paulo: Edipro, 2016.

SOUZA, Rodrigo Bastos de. **Manutenção inteligente: plataforma para aquisição de dados em atuadores elétricos.** 2018. 69 f. Monografia (Graduação) - Curso de Tecnólogo em Automação Industrial, Universidade Estadual do Rio Grande do Sul - Uergs, Porto Alegre, 2018. Disponível em: <https://repositorio.uergs.edu.br/xmlui/handle/123456789/1671>. Acesso em: 30 jun. 2023.

5

DESENVOLVIMENTO DE UM BIORREATOR MODULAR, COM FUNCIONALIDADES CUSTOMIZADAS PARA UTILIZAÇÃO EM LABORATÓRIO UNIVERSITÁRIO

Rodrigo Vargas

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo sintetiza o trabalho de conclusão de curso de Vargas (2018), que implementou um reator biomolecular modular, que garante a customização do ensaio químico.

Na natureza há elementos que se combinam e reagem através de biorreação. Tais biorreações por vezes são desejadas, mas em outras são um problema. Em ambos os casos são necessários o monitoramento dos efeitos gerados: gases, coloração, densidade, temperatura, entre outros. E para a correta análise, faz-se necessário que algumas variáveis sejam controladas. Um biorreator com características de monitoração e controle de variáveis acaba por ser o equipamento laboratorial que permite a análise dos fenômenos envolvidos em e uma biorreação.

De acordo com Vengurlekar (2015), um biorreator tem a função de agir como um ecossistema¹¹ controlado e isolado, provendo as condições necessárias para o desenvolvimento de um bioprocessos¹².

São encontradas diversas opções de biorreatores industriais no mercado, porém devido ao seu elevado custo, o acesso a tais equipamentos é inviável financeiramente a muitas faculdades e universidades, impossibilitando o desenvolvimento de pesquisas e a

¹¹ Ecossistema: Sistema formado por um meio natural e pela comunidade de organismos animais e vegetais, assim como as inter-relações entre ambos; biogeocenose (Michaelis, 2018).

¹² Bioprocessos: Desenvolvimento de processos enzimáticos e fermentativos para aproveitamento de resíduos e obtenção de coprodutos (Embrapa, 2018).

realização de simulações em laboratório, fundamental para o desenvolvimento prático de alunos.

Parte do custo para a construção de um biorreator é relativo à necessidade de implementar os diversos sensores ao sistema de monitoramento e controle (*hardware*), cuja construção eletrônica é complexa e bastante demorada, devido ao fato de necessitar construir circuitos eletrônicos. Outra dificuldade que pode ser citada é que, após a construção do circuito, ele tornava-se restrito a uma utilização específica e se houvesse a necessidade de pequenas alterações nas funcionalidades, demandava um estudo crítico e diversas horas de desenvolvimento e correções.

Os biorreatores atuais utilizam microcontroladores para efetuar o controle ativo, através do monitoramento (leitura de dados) e atuação, estimulando uma reação dentro do reator. De forma a exemplificar a atuação de um microcontrolador em um biorreator, se pode citar o monitoramento e o controle da temperatura interna, função que geralmente é pré-determinada pelo usuário do equipamento, em conformidade com a sua necessidade.

O surgimento dos primeiros microprocessadores, incorporando as funções de CPU (*Central Process Unit* – Unidade central de processamento) em um único circuito integrado, tornou popular o acesso de dispositivos com funções customizadas em um único *hardware*, possibilitando a fabricação de novos equipamentos de forma ágil e precisa. A grande vantagem se dá ao fato de facilitar a prototipagem e implementação de alterações de funcionalidades do sistema por *software*, tornando o *hardware* reutilizável e modular.

Por mais que os microcontroladores tenham facilitado o desenvolvimento das máquinas modernas, por reduzir a necessidade de desenvolvimento de hardware, seu manuseio não pode ser considerado trivial. Visando reduzir esta dificuldade, em 2005, um grupo de pesquisadores italianos do *Ivrea Interaction Design Institute* iniciou um projeto para a criação um dispositivo *open-source*¹³ que reunisse as características de fácil utilização, baixo custo, acessibilidade a diversos sistemas operacionais e de modularidade de *hardware*. Como resultado deste projeto, surgiu a plataforma microprocessada

13 “Open-Source”: É uma organização global sem fins lucrativos que protege e promove software, desenvolvimento e comunidades de código aberto, promovendo a liberdade de software na sociedade (Opensource, 2018).

Arduino¹⁴, que está sendo amplamente utilizada pela comunidade acadêmica e por entusiastas ao redor do mundo. O Arduino viabiliza a utilização de microprocessadores configuráveis a estudantes e professores de diversas áreas de conhecimento, que não possuem conhecimento específico de eletrônica ou programação (Arduino, 2018).

O presente trabalho de conclusão demonstra a viabilidade do desenvolvimento de um sistema modular de monitoramento e controle microprocessado para um biorreator, baseado na plataforma eletrônica Arduino. Foi construído um protótipo para a realização de testes de forma a demonstrar os resultados, viabilizando assim a análise da funcionalidade do sistema modular desenvolvido.

Como objetivo geral, este trabalho se propõe ao desenvolvimento de um sistema de monitoramento e controle microprocessado para um biorreator, tendo como premissas a utilização de componentes de fácil acesso no mercado. O sistema também deverá ser adaptável e modular, possibilitando assim que universidades, escolas técnicas e entusiastas na área da biociência possam montar biorreatores laboratoriais funcionais.

Como existe uma grande quantidade de bioprocessos, que podem ser alvos de utilização em um biorreator, o mesmo deve ser projetado de forma a viabilizar a maior quantidade de aplicações possíveis. No entanto, deve-se limitar a abrangência do projeto visto de modo a evitar onerar demasiadamente o projeto final, uma vez que, quanto maior a complexidade do bioprocessos, maior a quantidade de sensores e atuadores necessários.

Como a finalidade é utilizar componentes de fácil acesso e com o menor custo, o presente trabalho limitou-se na atuação do controle da temperatura interna do reator, através da definição de um *set-point*¹⁵ no display do sistema, no controle de uma bomba externa para alimentação de algum reagente e no controle da velocidade da pá de agitação do reator. O protótipo possuirá ainda duas saídas do tipo *on/off* e quatro entradas analógicas do tipo 0 a 5 Volts, para que o usuário possa incorporar sensores no biorreator, de acordo com a finalidade desejada, tornando assim o sistema modular e adaptável.

Como objetivos específicos deste projeto de pesquisa se pode elencar:

a) programar um sistema de controle de temperatura do vaso, onde ocorrerá o bioprocessos, utilizando a técnica de controle PID (proporcional, integral e derivativo)

14 Arduino: É uma plataforma open-source de prototipagem eletrônica com hardware e software flexíveis e fáceis de usar, destinado a artistas, designers, hobbistas e qualquer pessoa interessada em criar objetos ou ambientes interativos (Arduino, 2018);

15 *Set-point*: é o valor-alvo que um sistema de controle automático.

para o controle por modulação de uma bomba de água, que será responsável pela realização da troca térmica no vaso do biorreator;

b) programar um sistema de ajuste da velocidade da pá de agitação interna do biorreator, utilizando a técnica de modulação, para acionar o motor que proverá a agitação;

c) programar um sistema de controle da velocidade de bomba de alimentação de reagente, utilizando a metodologia de controle por modulação para controlar o motor que acionará a bomba;

d) implementar uma interface com o operador, através de um *display* parametrizável, com a finalidade de preparar o sistema de acordo com o bioprocessamento que será estimulado no reator, tornando assim o conjunto modular.

De acordo com Molino (2017), biorreatores são aparatos em que um bioprocessamento se desenvolve, e estão ligados a atividade inventiva humana e são utilizados desde a antiguidade, como por exemplo, a fermentação alcoólica para a produção de diferentes bebidas, como cerveja e vinho.

A monografia de Marchesan (2018) cita que biorreatores são reatores que propiciam um meio para a ocorrência de qualquer tipo de processo bioquímico, desde uma simples reação catalisada por uma enzima até uma fermentação, utilizando-se de um organismo vivo.

Ainda de acordo com Molino (2017), para que haja o desenvolvimento de um bioprocessamento, seja ele por células inteiras, quanto por componentes celulares, todas as condições para a existência de uma conversão química devem ser suprimidas durante a duração do processo desejado. Os parâmetros e condições ideais para cada bioprocessamento devem ser estudados e desenvolvidos de forma personalizada, visto a complexidade dos organismos existentes, formando uma série de requisitos que são ligados inerentemente a estrutura e respectivo metabolismo dos organismos a serem empregados.

Então, se pode dizer que o desenvolvimento de um bioprocessamento é uma tarefa de que envolve um longo estudo de informações acerca do organismo a ser cultivado e as respectivas condições experimentais necessárias, para que se monte o aparato necessário para a execução do processo bioquímico.

A Figura 5.1 apresenta um exemplo de um biorreator comercial.

Figura 5.1 - Biorreator TEC-BIO-7,5V



Fonte: TECNAL (2018).

2 METODOLOGIA

O presente trabalho caracteriza-se como um estudo teórico-prático, visto que levou a construção de um protótipo, com a finalidade de demonstrar, através de experimentos, as funcionalidades obtidas (objetivos específicos) pelo sistema de monitoramento e controle de um biorreator.

A primeira etapa para a construção deste projeto é a escolha do vaso, que fará o papel de reator para a simulação dos bioprocessos. A escolha do vaso foi de suma importância para a definição dos demais componentes que fizeram parte do conjunto, norteando a escolha da estrutura mecânica e eletrônica do projeto. A Figura 5.2 apresenta um detalhe de reator encamisado, feito com um recipiente dentro do outro para a realização do controle de temperatura através de entrada e saída de água.

Figura 5.2 – Detalhe de um reator encamisado



Fonte: Büchiglasuster (2018).

Já a Figura 5.3 apresenta um reator com vidro encamisado laboratorial, com seus devidos acessórios.

Figura 5.3 – Reator de vidro encamisado laboratorial com acessórios



Fonte: Büchiglasuster (2018).

Devido ao prazo definido no cronograma do trabalho para aquisição de um vaso reator de qualidade laboratorial e de seu elevado custo, não foi possível a aquisição em tempo para a utilização neste trabalho. Foi decidido utilizar um recipiente comercial vedado com a finalidade de simular o funcionamento do reator, o que proporcionou a definição dos demais componentes para a constituição do protótipo. A Figura 5.4 apresenta o reator implementado.

Figura 5.4 - Vaso escolhido para atuar como reator



Fonte: Autor (2018).

Como um dos objetivos do projeto foi utilizar um sistema de resfriamento e aquecimento controlado por microprocessador, a definição de um recipiente para atuar como reator proporcionou a definição dos demais itens necessários para a montagem do conjunto, como a estrutura que englobará o reator (com sistema de circulação de água), assim como a definição das bombas e demais componentes. A Figura 5.5 apresenta a montagem do vaso de reação com o sistema de troca térmica.

Figura 5.5 - Recipiente que circunda o reator por troca térmica

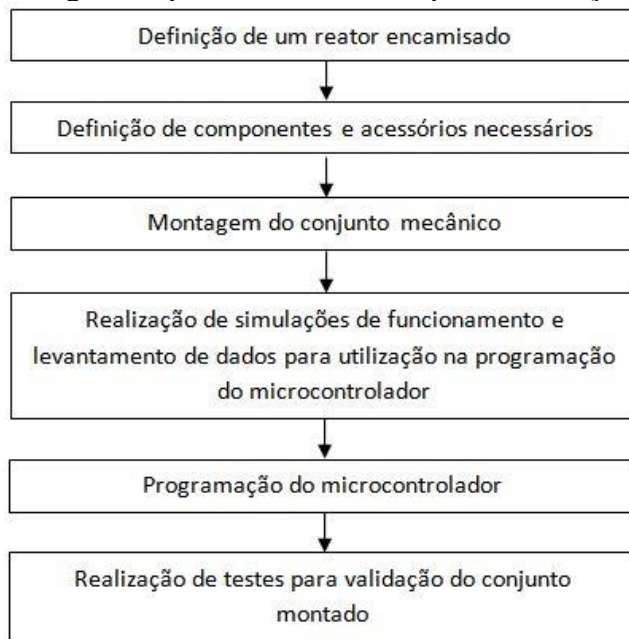


Fonte: Autor (2018).

Após a definição do reator e respectiva estrutura de resfriamento/aquecimento, foi necessária a aquisição dos demais componentes para a constituição do protótipo e a respectiva montagem física do conjunto, para a realização de ensaios e levantamento dos parâmetros de operação, utilizados na programação do microprocessador.

As etapas para definição do projeto físico deste trabalho podem ser observadas no seguinte diagrama, apresentado na Figura 5.6.

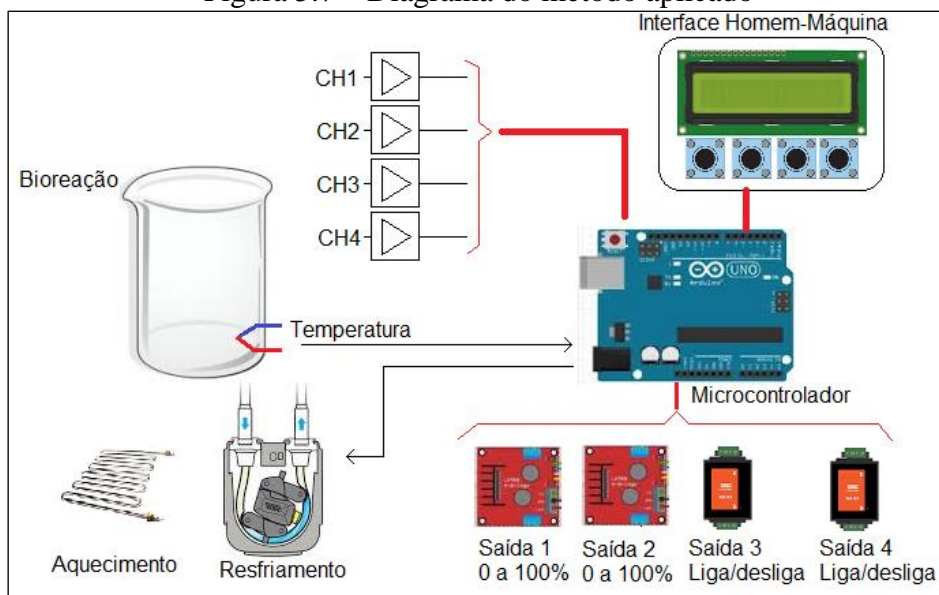
Figura 5.6 – Diagrama apresentando o fluxo para construção do protótipo



Fonte: Autor (2018).

O seguinte diagrama demonstra a concepção do projeto, apresentado na Figura 5.7.

Figura 5.7 – Diagrama do método aplicado



Fonte: Autor (2018).

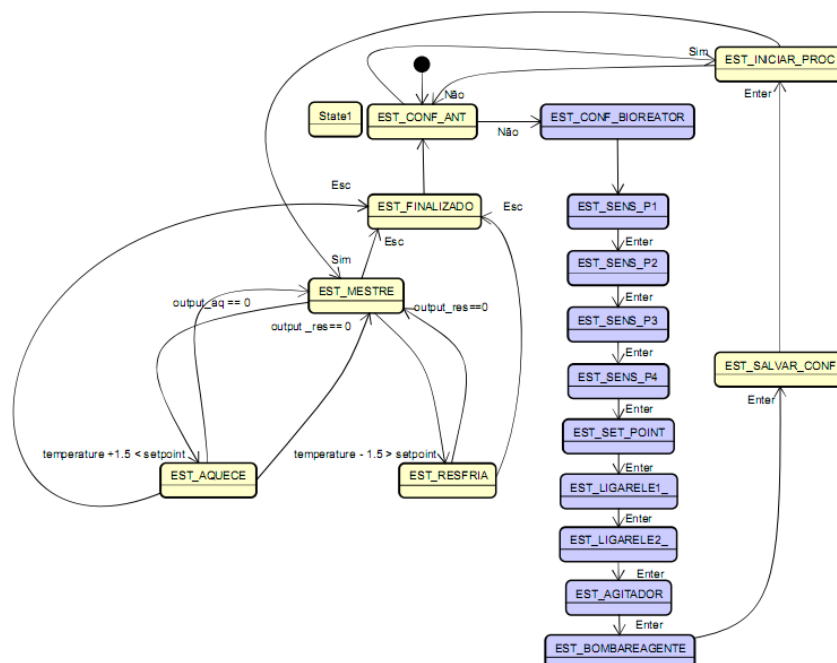
Logo após a montagem física do protótipo, deu-se o início a programação e realização de ensaios do conjunto com a estrutura completa, gerando assim os dados necessários para a avaliação do alcance dos objetivos propostos neste trabalho.

Devido às particularidades do projeto e respectiva complexidade de programação, optou-se por construir o código em partes, de forma a proporcionar a construção e realização de testes de forma separada e virtual, valendo-se do recurso da plataforma virtual de prototipagem Tinkercad¹⁶. A construção da programação deu-se pelas seguintes etapas:

- programação do código mestre;
- programação do *display* configurável;
- programação do controlador PID;
- programação dos controladores PWM por potenciômetro (controle da bomba de reagente e motor agitador);
- programação do sistema de coleta de dados através do cartão SD e integração ao *clock* para geração dos arquivos de armazenamento.

Após a montagem dos códigos separados no simulador Tinkercad, foi realizada a integração dos códigos em uma versão única, proporcionando assim a montagem do protótipo físico. O diagrama de estados seguinte, apresentado na Figura 5.8, sintetiza a concepção da programação do código e respectivo funcionamento do sistema.

Figura 5.8 – Diagrama de estados do método aplicado



Fonte: Autor (2018).

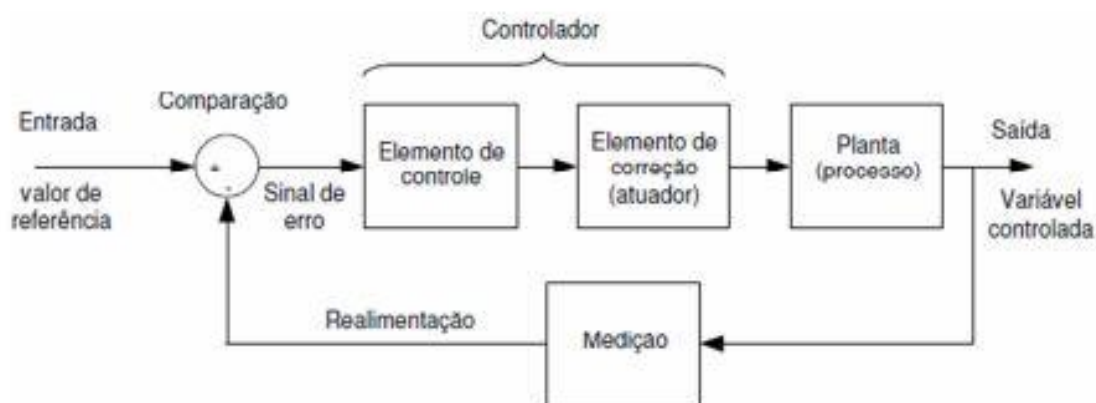
¹⁶ Tinkercad: Ferramenta online de design de modelos 3D em CAD e de simulação de circuitos elétricos analógicos e digitais, desenvolvida pela Autodesk;

Já com o protótipo montado e funcional, inicia-se a etapa de coleta de dados para calibração do controlador PID, última etapa para o refinamento da programação do Arduino. Para esta etapa, decidiu-se simular o funcionamento do biorreator com água em temperatura ambiente, configurando o sistema de modo a aquecer ou resfriar até o ponto máximo de transferência de temperatura, ou seja, ponto de estabilização.

Como o trabalho visa realizar o controle de apenas uma variável, que se trata da temperatura interna do reator, se optou pelo sistema digital de controle do tipo PI (Proporcional-Integral). Para a calibração do sistema, foi utilizado o método da resposta ao degrau Ziegler-Nichols, um conceito que possibilita o ajuste dos parâmetros de forma imediata após determinada a curva de reação do método. O procedimento para ajuste dos parâmetros por este método consiste na abertura da malha para eliminar a realimentação e possibilitar a obtenção da resposta a um degrau de amplitude na entrada da referência.

Todos os cálculos para a formulação da função de transferência e do controlador consideraram os resultados levantados a partir do protótipo já montado, já que o método de Ziegler-Nichols funciona analisando a atuação de grandezas em relação à inserção de entradas específicas. O diagrama de blocos da Figura 5.9 demonstra os elementos básicos de um controlador PI em malha fechada.

Figura 5.9 – Diagrama de blocos de um controlador PI em malha fechada



Fonte: Autor (2018).

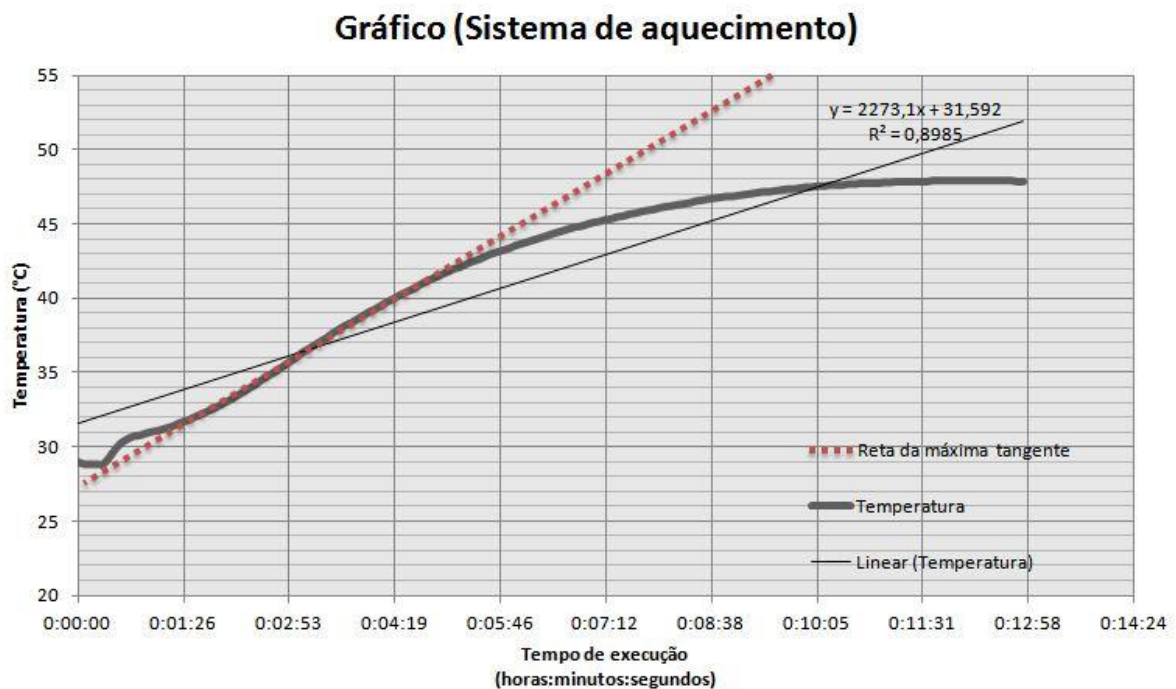
Na fase de concepção deste projeto, foi estipulado que o reator deveria trabalhar com um *range* de temperatura de 20°C a 60°C, levando à conclusão de que o protótipo deveria englobar três fases de funcionamento. Um estado seria o de aquecimento, o segundo estado seria o de resfriamento e a o terceiro estado seria de neutralidade, em que

o sistema de controle de temperatura permaneceria apenas monitorando o comportamento dentro do reator, proporcionando assim o tempo necessário para habilitar uma possível troca entre os dois primeiros estados citados. Esta metodologia foi aplicada para possibilitar uma transição segura entre os estados de aquecimento e resfriamento, já possibilitando uma melhoria no protótipo com o uso de compressor para o estado de resfriamento.

Após a definição dos três estados de operação do sistema de controle de temperatura do reator e sua respectiva programação, se inicia o protótipo estipulando a temperatura desejada no reator de 60°C (*setpoint*), o que faz com que o sistema ative o modo de aquecimento com a bomba de circulação trabalhando na frequência máxima.

Assim, foi editado o seguinte gráfico de temperatura em função do tempo, representado na Figura 5.10, necessário para a calibração pelo método Ziegler e Nichols (Ogata, 1997).

Figura 5.10 - Gráfico aquecimento reator, com característica da resposta ao degrau

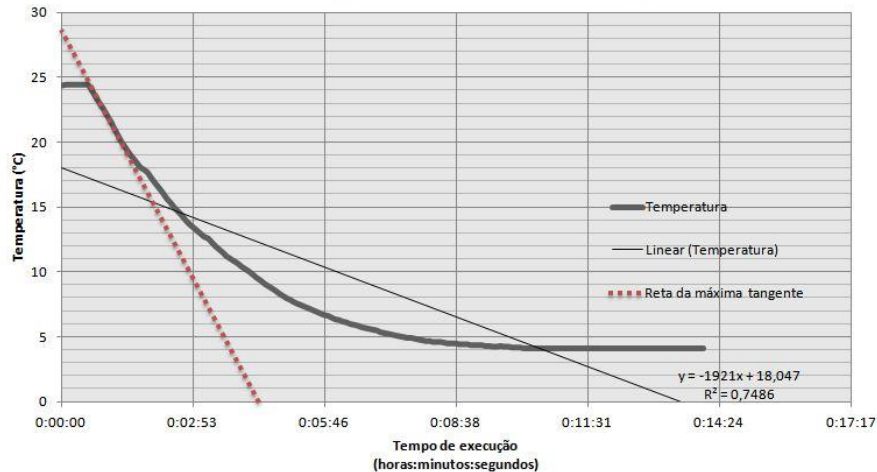


Fonte: Autor (2018).

Da mesma forma que foi editado o gráfico de aquecimento, é realizado o experimento para a construção do gráfico de resfriamento do reator. O protótipo foi iniciado com o *setpoint* de 0°C, com o reator contendo água em temperatura ambiente, fazendo com que o sistema ativasse o modo de resfriamento, provocando que a bomba

trabalhasse na máxima frequência. O sistema ficou ativo até que a temperatura do reator se estabilize na máxima capacidade de transferência de calor, proporcionando a montagem do seguinte gráfico (temperatura x tempo), apresentado na Figura 5.11.

Figura 5.11 - Gráfico aquecimento reator com característica da resposta ao degrau
Gráfico (Sistema de resfriamento)



Fonte: Autor (2018).

Após o definir as curvas de aquecimento e resfriamento, foi possível proceder com os cálculos para a parametrização dos parâmetros PID. De acordo com o método da máxima tangente, se traçou uma reta pontilhada nas figuras anteriores, no ponto de inflexão da curva e se realizou a verificação dos pontos onde ela passa, obtendo: para o aquecimento, $T = 186\text{s}$ e $L = 25\text{s}$ e, para o resfriamento $T = 307\text{s}$ e $L = 39\text{s}$. A Tabela 5.1 apresenta as características da resposta ao degrau.

Tabela 5.1 - Características da planta à resposta ao degrau

	Aquecimento	Resfriamento
T	186 segundos	307 segundos
L	25 segundos	39 segundos
Temp. Máx.	47,88°C	24,44°C
Temp. Mín.	28,81°C	4,06°C

Fonte: Autor (2018).

A partir dos dados coletados na tabela, é possível calcular os seguintes parâmetros do sistema:

A equação 5.1 apresenta a determinação do K_c para o estado de aquecimento.

$$K_c = \frac{47,88 - 28,81}{255 - 0} = 0,07 \quad (5.1)$$

A equação 5.2 apresenta a determinação do K_C para o estado de resfriamento.

$$K_C = \frac{4,06 - 24,44}{255 - 0} = -0,08 \quad (5.2)$$

A equação 5.3 apresenta a função de transferência do circuito em malha aberta (estado aquecimento).

$$G_{p(s)} = \frac{0,07 \times e^{-25}}{1 + 186s} \quad (5.3)$$

A equação 5.4 apresenta a função de transferência do circuito em malha aberta (estado resfriamento).

$$G_{p(s)} = \frac{-0,08 \times e^{-39}}{1 + 307s} \quad (5.4)$$

A equação 5.5 apresenta a definição dos parâmetros K_P e T_I , conforme o método de sintonia de Ziegler Nichols para malha aberta (estado de aquecimento).

$$K_P = \frac{0,9 \times 186}{25 \times (0,07)} = 95,06 \quad T_I = \frac{25}{0,3} = 83,33 \quad (5.5)$$

A equação 5.6 apresenta a definição dos parâmetros K_P e T_I , conforme o método de sintonia de Ziegler Nichols para malha aberta (estado de resfriamento).

$$K_P = \frac{0,9 \times 307}{39 \times (0,06)} = -88,66 \quad T_I = \frac{39}{0,3} = 130 \quad (5.6)$$

A equação 5.7 apresenta a função de transferência para o controlador PI (estado aquecimento).

$$G_C(s) = 95,65 \left[1 + \frac{1}{83,33s} \right] = \frac{7971,67 + 95,66}{83,33s} \quad (5.7)$$

A equação 5.8 apresenta a função de transferência para o controlador PI (estado resfriamento).

$$G_C(s) = -83,56 \left[1 + \frac{1}{130s} \right] = \frac{-11512 + 88,56}{130s} \quad (5.8)$$

É possível implementar um controlador PI utilizando aproximações numéricas da derivada e da integral, por uma equação das diferenças, conforme a equação 5.9 (Ibrahim, 2002), em que apresenta a equação das diferenças para programação do PI no microcontrolador.

$$u_{(k)} = u(k - 1) + K_p \left(\frac{2T_I + T}{2T_I} \right) e^{(K)} + K_p \left(\frac{-2T_I + T}{2T_I} \right) e^{(K-1)} \quad (5.9)$$

Ao simplificar esta equação, utilizando os dados de cada um dos estados deste projeto, se obtém a equação 5.10, com as diferenças (estado de aquecimento).

$$u_{(k)} = u(k - 1) + 95,66 \left(\frac{2 \times 83,33 + 4,9}{2 \times 83,33} \right) e^{(K)} - 95,66 \left(\frac{-2 \times 83,33 + 4,9}{2 \times 83,33} \right) e^{(K-1)} \quad (5.10)$$

$$u_{(k)} = u(k - 1) + 98,47e^{(K)} - 92,84e^{(K-1)}$$

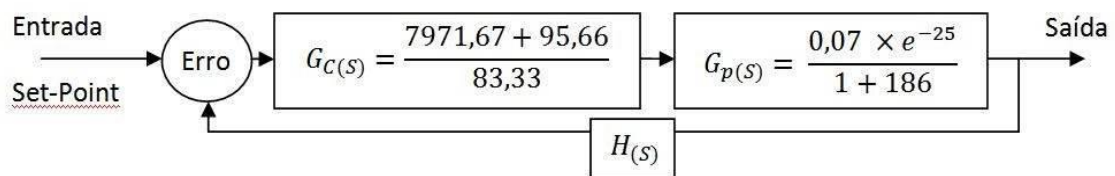
A equação 5.11 apresenta a equação das diferenças (estado de resfriamento).

$$u_{(k)} = u(k - 1) + (-88,56) \left(\frac{2 \times 130 + 4,9}{2 \times 130} \right) e^{(K)} - (-88,56) \left(\frac{2 \times 130 + 4,9}{2 \times 130} \right) e^{(K-1)}$$

$$u_{(k)} = u(k - 1) - 90,22e^{(K)} + 86,89e^{(K-1)} \quad (5.11)$$

O diagrama de blocos da Figura 5.12 foi implementado para os estados de aquecimento.

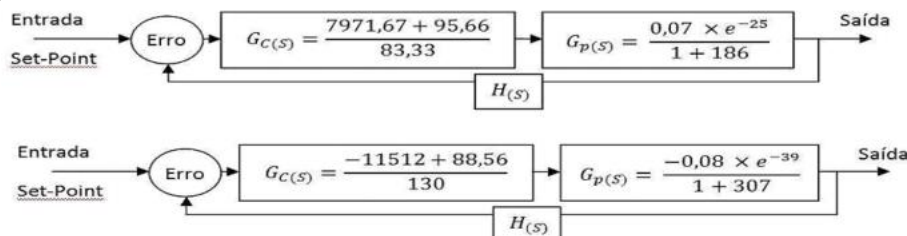
Figura 5.12 - Diagrama de blocos com controlador PI, estado de aquecimento



Fonte: Autor (2018).

O diagrama de blocos da Figura 5.13 foi implementado para os estados de resfriamento.

Figura 5.13 - Diagrama de blocos com controlador PI, estado de resfriamento



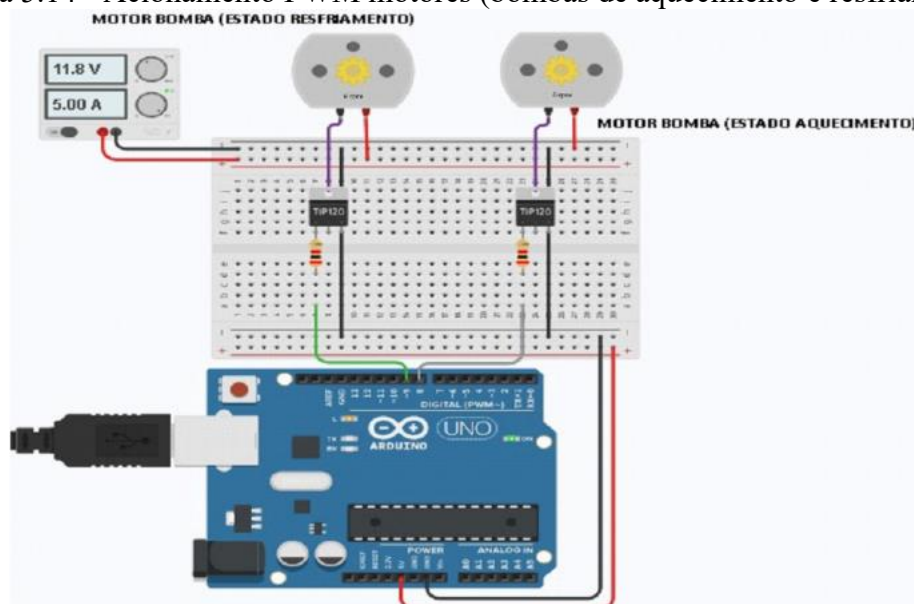
Fonte: Autor (2018).

Após a definição dos diagramas de blocos, os dados foram transferidos para a programação do microcontrolador, encerrando assim a calibração do sistema de controle PID.

Para o desenvolvimento deste projeto, foi necessária a montagem de um protótipo de um sistema com microprocessador baseada na plataforma “*open source*” Arduino, que efetuará o controle por modulação PWM de duas bombas hidráulicas, do tipo centrífuga, que serão responsáveis pela circulação de água para o sistema de resfriamento/aquecimento do reator. Estas bombas são ativadas pelo programa, conforme a necessidade do bioprocessamento, através da leitura de um sensor de temperatura, instalado dentro do reator, responsável por transmitir em tempo real as oscilações de temperatura do processo.

A Figura 5.14 apresenta um esboço de montagem do circuito de acionamento das bombas.

Figura 5.14 - Acionamento PWM motores (bombas de aquecimento e resfriamento)



Fonte: Autor (2018).

A Figura 5.15 apresenta uma imagem da bomba de recirculação de água no reator, a fim de provocar o resfriamento.

Figura 5.15 - Bomba para circulação de água no encamisamento do reator



Fonte: Autor (2018).

A Figura 5.16 apresenta o sistema de aquecimento do reator implementado.

Figura 5.16 - Sistema de aquecimento com o reator implementado



Fonte: Autor (2018).

A Figura 5.17 apresenta o sistema de resfriamento do reator implementado.

Figura 5.17 - Foto do sistema de resfriamento



Fonte: Autor (2018).

A Figura 5.18 apresenta o sistema conjunto de aquecimento e resfriamento do reator implementado.

Figura 5.18 - Sistemas de aquecimento e resfriamento montados



Fonte: Autor (2018).

O protótipo também efetua o controle por PWM de uma bomba do tipo diafragma, que simula o fornecimento de algum reagente para dentro do reator. A Figura 5.19 apresenta a bomba de reagente.

Figura 5.19 - Bomba Peristáltica na função de bomba de reagente



Fonte: Moraes (2016).

Há também a função de controlar um motor que ativará uma pá instalada, operando como um agitador dentro do reator. A Figura 5.20 apresenta reator industrial com um agitador ajustável.

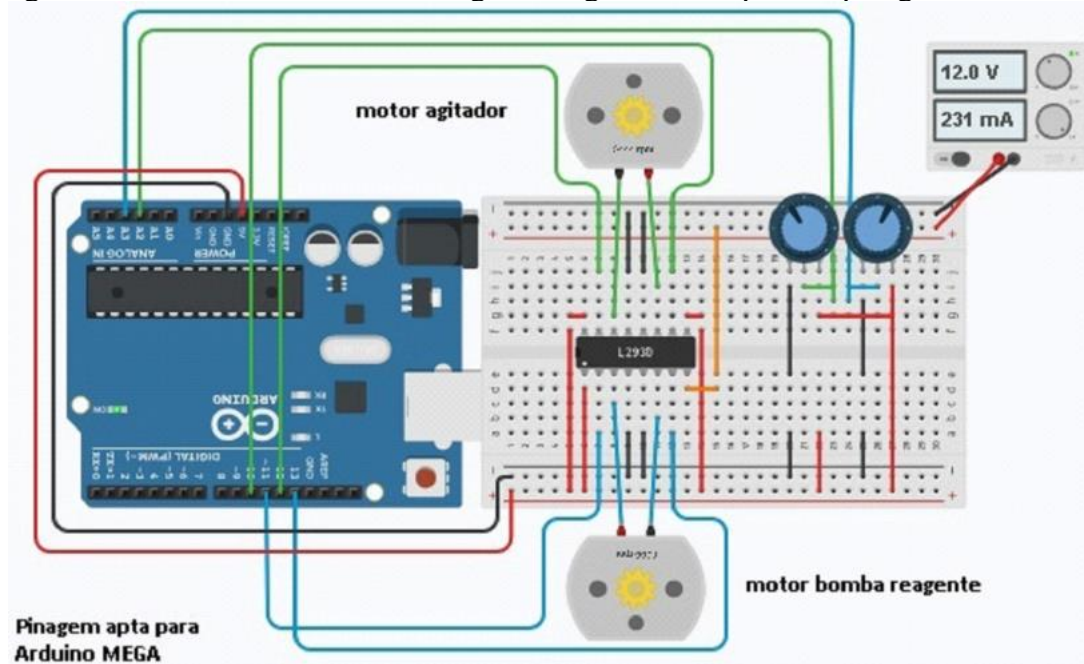
Figura 5.20 - Exemplo de um reator com agitador/misturador industrial



Fonte: Büchiglasuster (2018).

O circuito de acionamento da bomba e do agitador foi montado a partir de um circuito de interface entre o microcontrolador Arduino e os motores. A Figura 5.21 apresenta um esboço da montagem do motor da bomba de reagente e agitador, com sua respectiva pinagem de conexão.

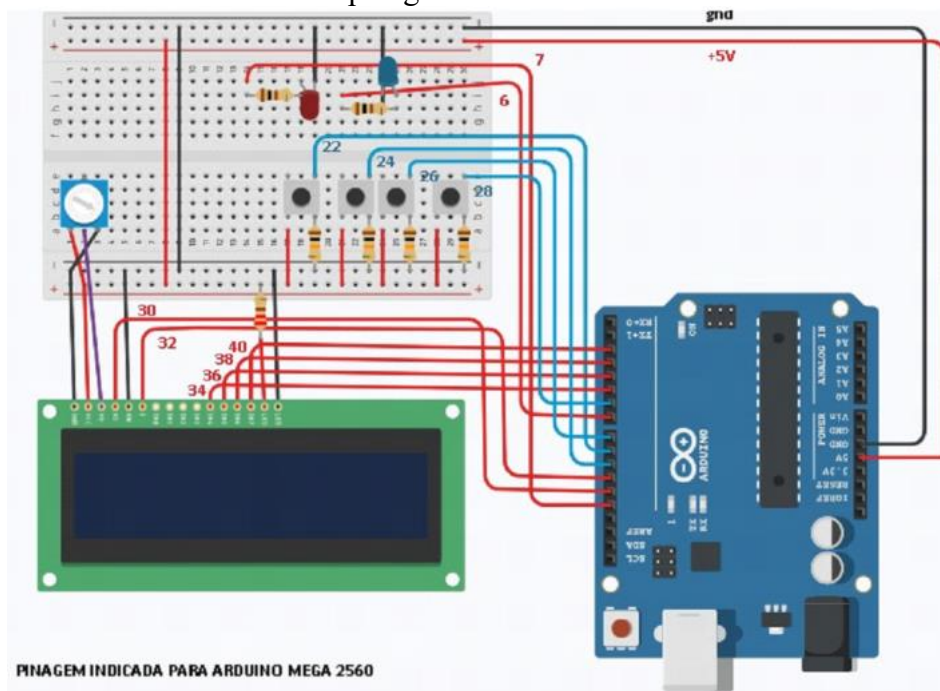
Figura 5.21 - Motor da bomba de reagente e agitador e respectiva pinagem de conexão



Fonte: Autor (2018).

O protótipo foi concebido com um dispositivo para registro/armazenamento dos dados adquiridos durante o funcionamento do biorreator. Estes dados são baseados na configuração realizada pelo operador no *display* do sistema, tornando cada nova utilização configurável, ao permitir acoplamento de até quatro sensores analógicos diversos (0 a 5 volts). A Figura 5.22 apresenta um esboço de montagem com o *display*, botões de controle, LEDs indicadores de *status* e respectivas pinagens de conexão.

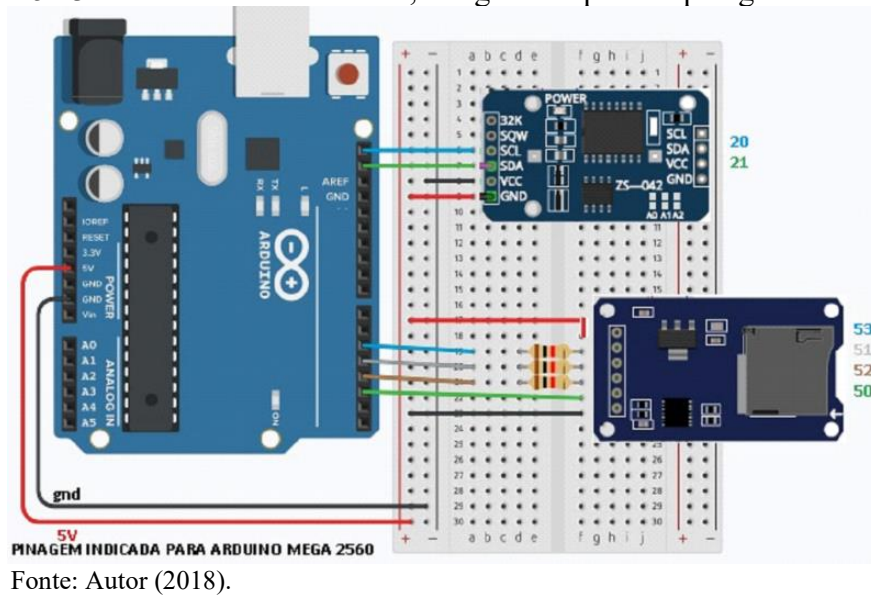
Figura 5.22 - *Display*, botões de controle, LEDs indicadores de *status* e respectiva pinagem de conexão



Fonte: Autor (2018).

Já a Figura 5.23 apresenta o esboço de circuito para implementação do sistema de aquisição de dados via cartão de memória SD.

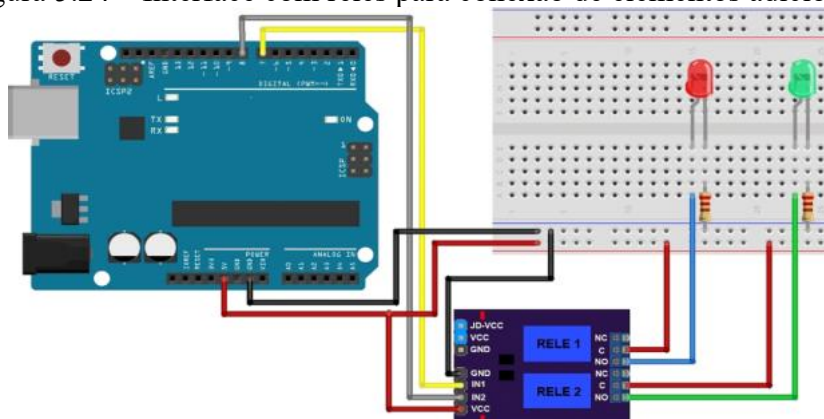
Figura 5.23 - Cartão de memória SD, relógio e respectiva pinagem de conexão



Foi construído também um circuito de força (fonte de alimentação), cabos e tubos, além da construção mecânica de dois recipientes para a simulação do funcionamento de um reator, assim como a tubulação.

Para o acionamento de outros dispositivos, que podem ser agregados ao processo de biorreação, foi utilizado relés de contato seco como interface, representados na Figura 5.24, tendo a carga simulada por dois LEDs, a título de visualização de funcionamento.

Figura 5.24 – Interface com relés para conexão de elementos adicionais

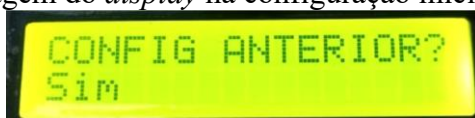


3 RESULTADOS E ANÁLISE

Para a validação do protótipo e verificação de suas funcionalidades, em comparação aos objetivos propostos, inicialmente é necessária uma explicação de sua operação e, posteriormente, avaliação dos dados levantados durante o funcionamento dele.

Ao se ligar o protótipo, o programa inicia com um questionamento ao usuário, visando se ele tem a intenção de utilizar a configuração anterior, conforme Figura 5.25.

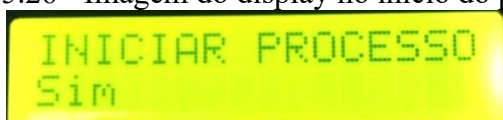
Figura 5.25 - Imagem do *display* na configuração inicial do equipamento



Fonte: Autor (2018).

O questionamento possibilita ao usuário utilizar a configuração anterior do biorreator, evitando que ele configure todos os sensores e parâmetros de forma duplicada. Se o usuário optar pelo “sim”, o programa irá questionar ao usuário se ele deseja iniciar o bioprocessamento, conforme Figura 5.26.

Figura 5.26 - Imagem do display no início do processo



Fonte: Autor (2018).

Caso o usuário opte por uma nova configuração ao selecionar a opção de “não” na tela inicial, o programa irá iniciar um menu, com uma série de perguntas, possibilitando a “customização” do biorreator, conforme a sua necessidade. A imagem na Figura 5.27 demonstra uma sequência de etapas, que o usuário do biorreator passará, até poder iniciar um novo processo.

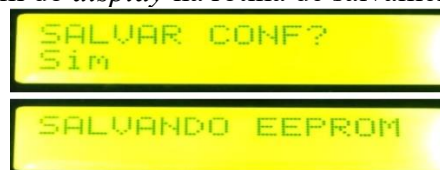
Figura 5.27 - Sequência simplificada de etapas da configuração do biorreator



Fonte: Autor (2018).

Na última etapa da configuração do biorreator, o programa irá questionar se o usuário tem a intenção de salvar a configuração “customizada” para o uso em uma nova oportunidade. Caso opte pelo “sim”, a configuração será salva na EEPROM e, quando o usuário ligar novamente o biorreator, poderá utilizar a configuração anterior diretamente. Figura 5.28 demonstra esta ação.

Figura 5.28 - Imagem do *display* na rotina de salvamento das configurações



Fonte: Autor (2018).

Ao finalizar todas as etapas da configuração do biorreator, o programa irá questionar ao usuário se deseja iniciar uma biorreação. Ao optar pelo “sim”, o programa começará a controlar a temperatura do biorreator com base no *setpoint* estabelecido, coletar e armazenar todos os parâmetros de funcionamento configurados no menu e armazenar as informações no cartão de memória SD, possibilitando que o usuário possa fazer análise posterior dos dados coletados. A imagem seguinte mostra o arquivo salvo

automaticamente pelo programa, ao se transferir o cartão de memória SD para o computador, como aponta a Figura 5.29.

Figura 5.29 - Imagem do conteúdo do cartão SD após processo realizado

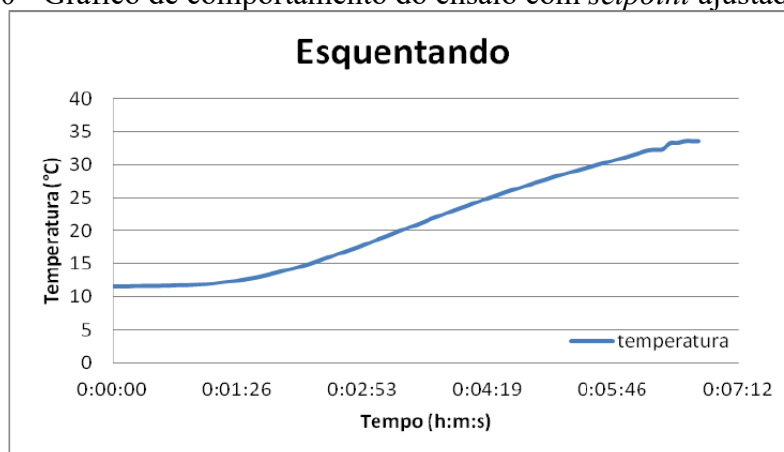
1	Data,Horario, Temperatura, Setpoint, Estado, Velocidade Bomba (PWM), Reagente, Agitador, SENSOR 1TIPO, SENSOR 1, SENSOR 2TIPO, SENSOR 2, SENSOR 3TIPO,
2	SENSOR 3, SENSOR 4TIPO, SENSOR 4, RELÉ 1, RELÉ 2
3	11/12/18, 10:25:29, 22.38, 30.00, AQUECE, 255.00, 99, 99, Temperatura, -255.00, Temperatura, -255.00, Temperatura, -255.00, Temperatura, -255.00, OFF, OFF
4	11/12/18, 10:25:36, 22.31, 30.00, AQUECE, 255.00, 99, 99, Temperatura, -255.00, Temperatura, -255.00, Temperatura, -255.00, Temperatura, -255.00, OFF, OFF
5	11/12/18, 10:25:42, 22.31, 30.00, AQUECE, 255.00, 99, 99, Temperatura, -255.00, Temperatura, -255.00, Temperatura, -255.00, Temperatura, -255.00, OFF, OFF
6	11/12/18, 10:25:48, 22.31, 30.00, AQUECE, 255.00, 99, 99, Temperatura, -255.00, Temperatura, -255.00, Temperatura, -255.00, Temperatura, -255.00, OFF, OFF
7	11/12/18, 10:25:54, 22.25, 30.00, AQUECE, 255.00, 99, 99, Temperatura, -255.00, Temperatura, -255.00, Temperatura, -255.00, Temperatura, -255.00, OFF, OFF
8	11/12/18, 10:26:0, 22.25, 30.00, AQUECE, 255.00, 99, 99, Temperatura, -255.00, Temperatura, -255.00, Temperatura, -255.00, Temperatura, -255.00, OFF, OFF
9	11/12/18, 10:26:7, 22.19, 30.00, AQUECE, 255.00, 99, 99, Temperatura, -255.00, Temperatura, -255.00, Temperatura, -255.00, Temperatura, -255.00, OFF, OFF
10	11/12/18, 10:26:13, 22.13, 30.00, AQUECE, 255.00, -99, 99, Temperatura, -255.00, Temperatura, -255.00, Temperatura, -255.00, Temperatura, -255.00, OFF, OFF
11	11/12/18, 10:26:19, 22.06, 30.00, AQUECE, 255.00, -99, 99, Temperatura, -255.00, Temperatura, -255.00, Temperatura, -255.00, Temperatura, -255.00, OFF, OFF
12	11/12/18, 10:26:25, 22.00, 30.00, AQUECE, 255.00, -99, -100, Temperatura, -255.00, Temperatura, -255.00, Temperatura, -255.00, Temperatura, -255.00, OFF, OFF
13	11/12/18, 10:26:38, 21.94, 30.00, AQUECE, 255.00, -99, -100, Temperatura, -255.00, Temperatura, -255.00, Temperatura, -255.00, Temperatura, -255.00, OFF, OFF

Fonte: Autor (2018).

Ao analisar os dados levantados, é possível verificar o funcionamento do sistema de armazenamento de dados com as respectivas portas customizadas pelo usuário, que significam os potenciais sensores optados na fase de configuração do biorreator, bem como o funcionamento do controle de temperatura PID. A seguir se apresenta uma tabela demonstrando a operação do sistema de aquecimento do reator durante sete minutos de funcionamento, após iniciar-se o programa com o *setpoint* de temperatura em 30°C com o reator com água a temperatura ambiente.

A Figura 5.30 apresenta o gráfico do comportamento de um ensaio.

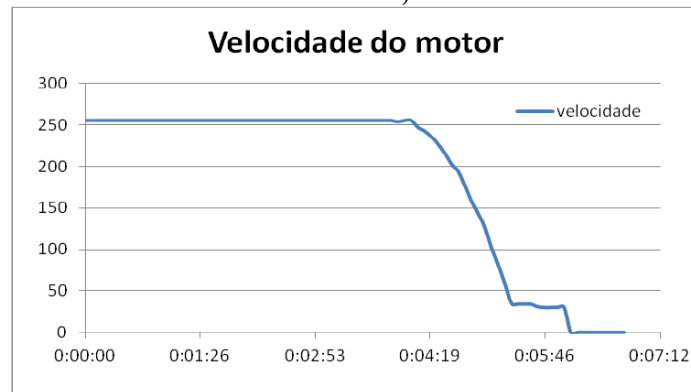
Figura 5.30 - Gráfico de comportamento do ensaio com *setpoint* ajustado para 30°C



Fonte: Autor (2018).

A Figura 5.31 apresenta um gráfico da velocidade do motor em função do tempo, durante o resfriamento do ensaio.

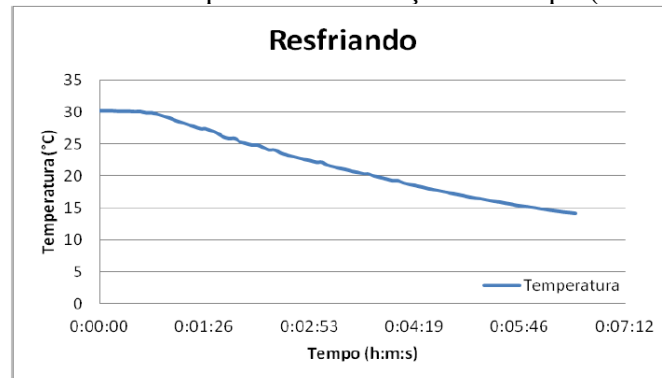
Figura 5.31 - Gráfico de velocidade do motor da bomba em função do tempo (resfriando o reator)



Fonte: Autor (2018).

Para verificar o funcionamento do sistema de resfriamento, foi realizada mais uma simulação com o reator iniciando com 30°C e *setpoint* de 15 °C. O seguinte gráfico foi gerado durante sete minutos de funcionamento, visto na Figura 5.32.

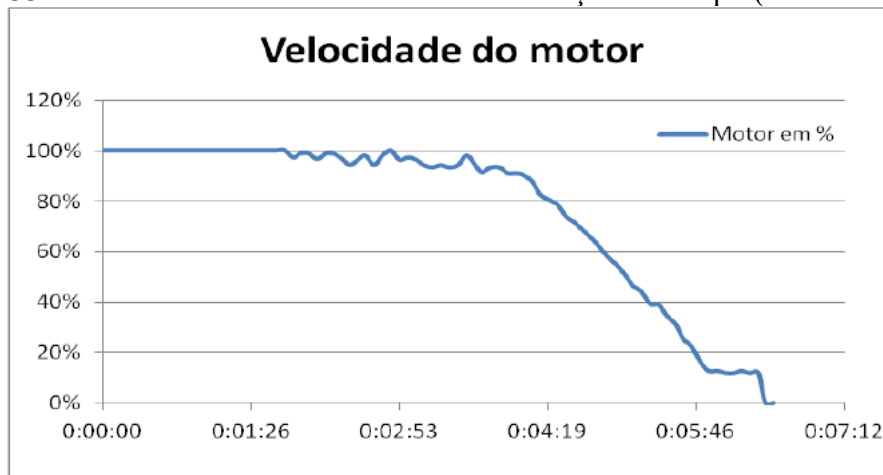
Figura 5.32 - Gráfico de temperatura em função do tempo (resfriando o reator)



Fonte: Autor (2018).

A Figura 5.33 apresenta um gráfico da velocidade do motor em função do tempo, durante o resfriamento do ensaio.

Figura 5.33 - Gráfico de velocidade do motor em função do tempo (resfriando o reator)



Fonte: Autor (2018).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O protótipo desenvolvido demonstrou o atendimento satisfatório dos objetivos propostos no trabalho, comprovando que a plataforma *open source* Arduíno pode ser aplicada para a realização do trabalho de monitoramento e controle microprocessado de um biorreator.

A utilização do *display* no protótipo possibilitou ao usuário a possibilidade de configurar o biorreator a diferentes necessidades, tornando o sistema modular ao possibilitar a incorporação de diferentes sensores ao sistema, bem como a possibilidade de ativar dois dispositivos diversos, através da utilização de relés.

Os sistemas de controle da bomba de reagente e do motor do agitador tiveram o funcionamento adequado.

O sistema de monitoramento e armazenamento de variáveis por cartão SD apresentou um funcionamento adequado, possibilitando ao usuário o levantamento dos parâmetros da biorreação realizada.

O sistema de controle de temperatura demonstrou funcionamento adequado, ressaltando, no entanto, o comportamento das bombas centrífugas utilizadas, que impossibilitaram a realização de testes de longa duração, que se fazem necessários para melhor avaliação do comportamento do sistema de controle PI.

Como sugestão para trabalhos futuros, é possível destacar:

- a) integrar o protótipo a um reator encamisado de qualidade laboratorial, revisando os componentes utilizados e a respectiva configuração do sistema de controle de temperatura do reator;
- b) integrar outros sensores necessários para acompanhar o desenvolvimento de biorreações, habilitando o protótipo a comparações com biorreatores industriais, sendo sugerido trocar o sensor DS18B20 por um do tipo infravermelho para controlar a temperatura interna do reator;
- c) integrar um supervisor e um sistema de transmissão de dados, para que o usuário possa acompanhar o bioprocessamento de forma *online*;
- d) modificar o método utilizado no sistema de aquecimento, implementando um sistema ativo de controle da resistência, para evitar um consumo demasiado de energia elétrica, bem como substituir a bomba de circulação de água por uma apta para operação com fluidos em temperatura elevada, em que se recomenda a utilização de uma bomba do tipo deslocamento positivo, possibilitando o controle preciso do volume e pressão de água por fora do reator encamisado;
- e) modificar o método utilizado no sistema de resfriamento integrando um compressor, o que habilitará o protótipo a testes de longa duração, devendo ser substituída a bomba centrífuga utilizada por uma do tipo deslocamento positivo, possibilitando o controle preciso do volume e pressão de água que passará por fora do reator encamisado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARDUINO. “**WHAT IS ARDUINO?**”. 2018. Disponível em:
<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>. Acesso em: 4 set. 2018.

BÜCHIGLASUSTER. **Pilot plant and reactor systems**. 2018. Disponível em:
<https://www.buchiglas.com.br/pt/nossas-diviso-es-de-produtos.html>. Acesso em: 4 nov. 2018.

EMBRAPA. **BIOPROCESSOS**. 2018. Disponível em:
<https://www.embrapa.br/bioprocessos>. Acesso em: 4 set. 2018.

IBRAHIM, Dogan. **Microcontroller based temperature monitoring and control**. 2. ed. Carolina do Norte: Newnes, 2002. 234 p.

MARCHESAN, Vitor Frost. **Construção de controlador de biorreator para fins didáticos de baixo custo utilizando Arduino e testes de viabilidade.** 2018. 70 f. Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia, Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Bento Gonçalves, 2018.

MOLINO, João Vitor Dutra. **Produção de proteínas heterólogas em microalga.** 2017. 132 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências Farmacêuticas, Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/9/9134/tde-12052017-162321/pt-br.php>. Acesso em: 2 set. 2018.

MORAES, Diogo Luis de. **Desenvolvimento de um Sistema de Controle e Medição de Vazão para Bombas Peristálticas.** 2016. 74 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia de Controle e Automação, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2016.

OGATA, Katsuhiko. **Modern control engineering.** 3. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1997. 997 p.

OPENSOURCE. **Open-source initiative.** 2018. Disponível em: <https://opensource.org/>. Acesso em: 4 set. 2018.

VARGAS, Rodrigo. **Desenvolvimento de um biorreator modular, com funcionalidades customizadas para utilização em laboratório universitário.** 2018. 50 f. Monografia (Graduação) - Curso de Tecnólogo em Automação Industrial, Universidade Estadual do Rio Grande do Sul - Uergs, Porto Alegre, 2018. Disponível em: <https://repositorio.uergs.edu.br/xmlui/handle/123456789/1621>. Acesso em: 30 jun. 2023.

VENGURLEKAR, Amol. **Design of a real-time reconfigurable bioreactor.** 2015. 88 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Ciências de Engenharia Elétrica, Faculdade de Pós-graduação, The University of Texas At Arlington, Arlington (Texas), 2015. Disponível em: <https://rc.library.uta.edu/uta-ir/handle/10106/25106>. Acesso em: 3 set. 2018.

6

DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE ACONDICIONAMENTO DE LIVROS RAROS, AUTOMATIZADO E COM CARACTERÍSTICAS DE MOBILIDADE

Lucas Cardozo Ferreira

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo sintetiza o trabalho de conclusão de curso de Ferreira (2018), que implementou um equipamento capaz de garantir a integridade de livros, considerados raros.

A Universidade Estadual do Rio Grande do Sul recebeu em 2018 uma pequena coleção de livros e revistas antigos de outra instituição, os quais permitem diversas pesquisas nos cursos de Letras e de Pedagogia da Universidade. O acervo recebido é de livros e revistas com mais de 60 anos e apresentam sinais de deterioração, com páginas amareladas e manchadas.

O ambiente para armazenamento destes livros atualmente é um armário, sem o controle ambiental necessário para sua conservação adequada por longos períodos. Segundo Ashrae (1999), museus e bibliotecas que visam conservar seu acervo, aplicam uma temperatura de $21^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ e com umidade relativa do ar em $50\% \pm 5\%$.

Foi oferecido a Universidade Estadual do Rio Grande do Sul a doação de mais livros e revistas raras, desde que fosse disponibilizado um ambiente com temperatura e umidade controlada, o que atualmente não existe na instituição. Também é necessária certa mobilidade do acervo, pois da universidade é *multicampi*, com cursos em diversos locais do estado, que poderiam estudar esta coleção.

Como hipótese, adaptar um armário ou gabinete com um sistema de controle de temperatura e umidade relativa baseado em uma eletrônica embarcada, permitindo a

conservação de uma pequena coleção de livros, documentos e revistas. Também deve ter dimensões reduzidas para que possa ser transportado entre unidades da universidade, em veículos com caçamba.

O objetivo deste trabalho é adaptar um armário para que possa armazenar livros nas condições adequadas para a conservação, permitindo também sua movimentação entre unidades da instituição. Como objetivos específicos, se elencam:

- a) adaptar prateleiras para armazenar o acervo de forma que não danifique o material no transporte;
- b) implementar sistema de controle de temperatura e umidade que mantenha estas variáveis nos parâmetros corretos;
- c) adaptar a estrutura do móvel para que possa ser movimentado.

Para o controle das variáveis ambientais do armário será necessário o entendimento da umidade relativa, conceito que não é frequentemente utilizado no ramo da automação. Assim como as pastilhas termoelétricas baseadas no efeito Peltier.

Umidade relativa é a pressão de vapor de água no ar comparado a pressão de vapor saturado de água no ar a uma certa temperatura, conforme a Equação 6.1.

$$UR = \frac{e}{e_s} \quad (6.1)$$

Em que e é a pressão de vapor do ambiente e e_s é a pressão de vapor saturado. Variações de temperatura influenciam na pressão de vapor saturado conforme a Equação de Tetens aperfeiçoada por Murrey e apresentada por Monteith e Unsworth (2013), na Equação 6.2.

$$e_s(T) = e_s(T^*) * \exp^{A * \frac{T-T^*}{T-T'}} \quad (6.2)$$

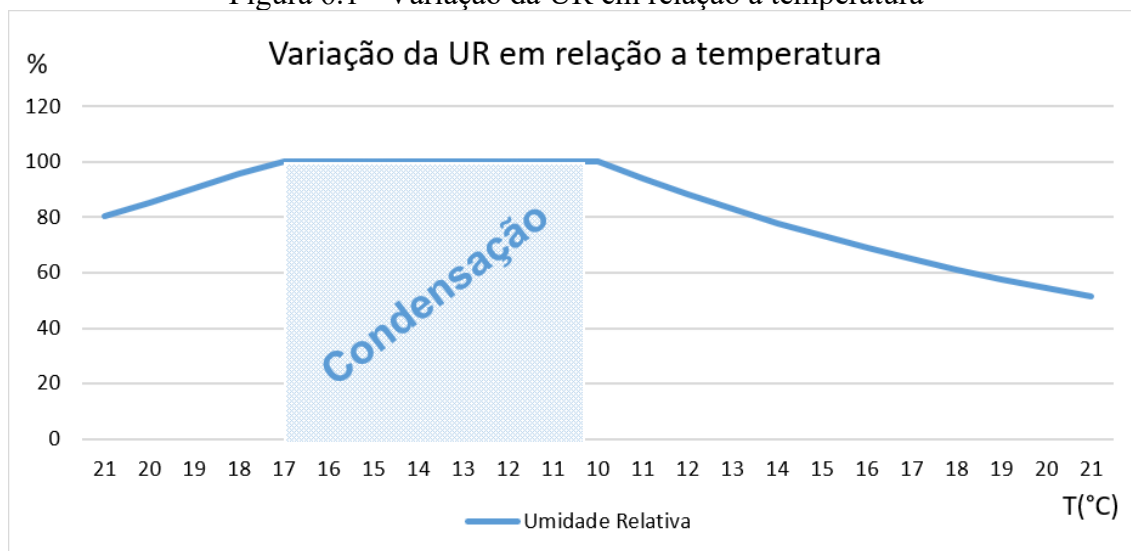
Sendo $e_s(T^*)$, A , T^* e T' parâmetros da equação, equivalendo respectivamente a 611Pa, 17,27, 273K e 36K e T a temperatura do ar em Kelvin, estes valores consideram a pressão a nível do mar (1 atmosfera). Para calcular a pressão de vapor para uma certa quantidade de água no ar a uma certa temperatura pode-se utilizar a Equação 6.3.

$$e = x * \left(\frac{R}{M_{agua}} \right) * T \quad (6.3)$$

Sendo x a umidade absoluta do ar ($\frac{g}{m^3}$), $M_{água}$ a massa molar da água ($18 \frac{g}{mol}$), R a constante universal dos gases ($8,314462 \frac{m^3 Pa}{K \cdot mol}$), e T como temperatura em Kelvin.

Utilizando estas equações é possível simular a variação da umidade relativa conforme a variação da temperatura, como pode ser visto na Figura 6.1.

Figura 6.1 - Variação da UR em relação a temperatura



Fonte: Autor (2018).

A umidade relativa aumenta conforme a temperatura é reduzida, até que é atingido 100%. Nesse momento o ar está saturado de vapor de água causando condensação. Quando a temperatura é elevada novamente a UR não volta a ser a mesma, pois parte da água que antes estava no ar condensou no ambiente.

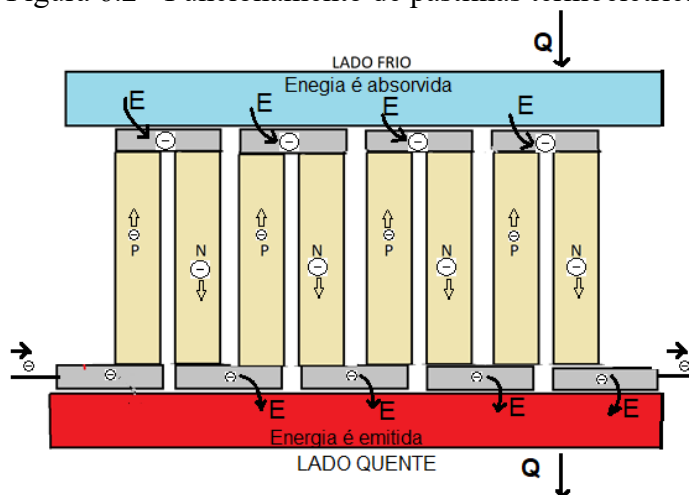
A redução da temperatura e posterior aumento ocasionou a redução da UR, inicialmente a UR estava em 81% e ao final alcançou apenas 51,3%. Esta simulação exemplifica o funcionamento de muitos desumidificadores, onde o ar húmido do ambiente é resfriado, condensando nas paredes do aparelho e em seguida aquecido e liberado com menor UR no ambiente.

Dispositivos termoelétricos convertem energia elétrica (em forma de corrente contínua) em gradiente de temperatura. Este fenômeno foi descoberto por Peltier em 1834. A aplicação destes efeitos de resfriamento e aquecimento permaneceu mínima até o desenvolvimento de materiais semicondutores (Riffat; Ma, 2003).

Estes dispositivos são compostos por pares de semicondutores tipo N e P, quando uma corrente contínua é conduzida por estes pares, os elétrons saltam de níveis de energia

baixos nos condutores tipo P para níveis mais altos no condutor tipo N. Esse salto é possível pela absorção de energia térmica do lado frio. Quando o elétron passa do condutor N para o P o processo é o inverso, o elétron volta para um nível inferior de energia, liberando o excesso no lado quente. Este efeito é denominado Peltier e está exemplificado na Figura 6.2.

Figura 6.2 - Funcionamento de pastilhas termoelétricas



Fonte: Autor (2018).

Os elétrons estão simbolizados pelos círculos com o sinal negativo em seu interior. O tamanho desses símbolos indica se estão em um nível de energia maior ou menor. Quando um elétron passa do P para o N seu nível de energia cresce, absorvendo a energia térmica do lado frio e quando passa do N para o P sua energia é liberada para o lado quente, voltando ao nível inferior de energia.

Esse processo pode ser revertido, originando o efeito Seebeck, quando a passagem do calor pelos pares dopados gera corrente elétrica. Atualmente existem pastilhas termoelétricas capazes de gerar gradientes de temperatura de mais de 50 graus Celsius e são usados em para resfriamentos de aparelhos como bebedouros e pequenas geladeiras.

2 METODOLOGIA

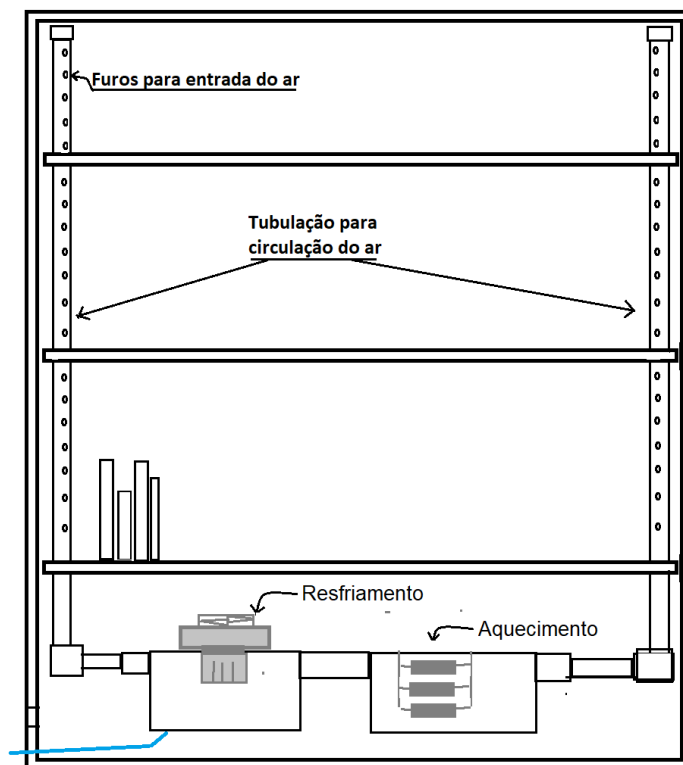
O método para armazenamento e conservação da coleção é o uso de um pequeno armário com controle de temperatura e umidade relativa, reforçando a estrutura do armário para que possa ser transportado.

A pesquisa em questão é quantitativa, pois a avaliação é realizada pelos parâmetros ambientais alcançados. Também é explicativa e laboratorial, porque desenvolve e implementa o controle ambiental.

Este trabalho abrange a conservação de pequenas coleções, com menos de 500 livros ou revistas. Aplicando o sistema de controle ambiental eficaz em espaços reduzidos, podendo ser moveis ou outros locais de acondicionamento.

O controle de temperatura e umidade relativa é realizada por meio de pastilhas termoeletricas, com dois sistemas separados, cada um acionado por um controlador FullGauge, um para controle de temperatura e outro para controle de umidade. Na Figura 6.3 está a representação dos dois sistemas de controle.

Figura 6.3 - Método para implementação do gabinete



Fonte: Autor (2018).

O armazenamento da coleção será nas 3 prateleiras superiores. O sistema de controle e eletrônica estando na prateleira de baixo, o sistema de resfriamento transfere o calor do ar dos tubos, por meio das pastilhas termoeletricas, para a parte inferior do armário e expulsa por ventiladores para fora do móvel. Para o controle de umidade relativa é realizado o aquecimento do ar, por meio de resistências, elevando a temperatura

o necessário, para que alcance 50% UR, semelhante ao disposto na fundamentação teórica da umidade relativa.

No tubo em que é realizado o resfriamento é esperado uma condensação de água, a fim de reduzir a umidade, por tanto um canal na parte inferior do tubo leva o excedente de água para fora do móvel.

Apenas a madeira do próprio gabinete não proporcionará isolamento suficiente para que as pastilhas consigam reduzir a temperatura, portanto deve-se isolar as paredes das 3 prateleiras superiores com algum material que impeça a transferência do calor.

O reforço na estrutura do armário pode ser realizado com a adição de cantoneira nos 4 cantos do móvel, mais pontos de fixação nas prateleiras já existentes e, caso necessário, rodas para facilitar as movimentações.

3 RESULTADOS E ANÁLISE

Os dados do controle ambiental serão analisados quanto a terem se mantido nos valores parametrizados e a variação destes, como por exemplo 20°C a 22°C e 50%UR a 60%UR, como indicado no trabalho de Junior (1997). As flutuações de temperatura e umidade também serão analisadas e comparadas. Se for classificado como Classe B ou superior, será considerado sucesso, pois haverá chance muito baixa de dano ao papel. Será alterado o valor de temperatura da sala, onde o armário estará, simulando uma variação ambiental, provocando que o limite de trabalho não seja mais possível de ser controlador, deixando de manter as variáveis ambientais dentro dos parâmetros descritos.

Caso não seja alcançado o objetivo, os testes serão focados em encontrar o problema e levantar hipóteses de resolução dele. Também será analisado se o consumo de energia do sistema de controle do armário é compatível ao fornecido pela tomada 12 volts com potência de 180 Watts de um veículo Fiat Fiorino, utilizado pela universidade e outras instituições para transporte de material, para que assim possa ser transportado por longas distâncias, com o controle ambiental funcionando.

A implementação do móvel seguiu 3 etapas, sendo a primeira a medição e modelagem do gabinete em um *software* CAD, a fim de facilitar o planejamento das adaptações. A segunda etapa foi realizar as adaptações na estrutura do móvel, com adição de cantoneiras, pontos de passagem dos tubos e placas de isopor, para o isolamento térmico.

Então, foi implementado o sistema de controle de temperatura e controle de umidade relativa. Quando o sistema estava montado, foi realizado testes para saber sua eficácia.

As medidas do móvel foram realizadas por meio de uma trena, sendo modelado cada placa de madeira individualmente, assim adaptações podem ser realizadas e transferidas para desenhos. O Móvel adaptado está na Figura 6.4.

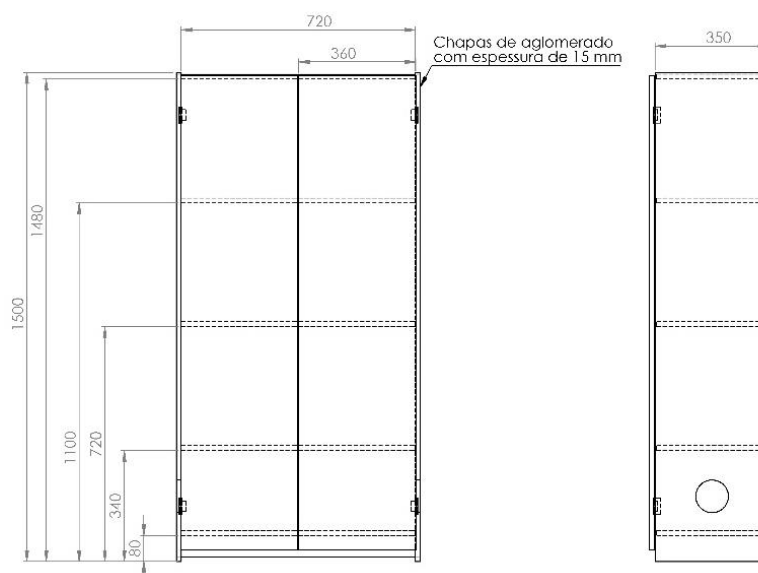
Figura 6.4 – Móvel adaptado para o acondicionamento dos livros



Fonte: Autor (2018).

As medidas do móvel são 700 milímetros de largura, 1.500 milímetros de altura e 400 milímetros de profundidade. Demais medidas estão informadas na Figura 6.5.

Figura 6.5 - Dimensões do gabinete de acondicionamento de livros, em milímetros



Fonte: Autor (2018).

O armário é construído em chapas com 15 milímetros de espessura de aglomerado de partículas de madeira, não compondo um bom isolamento para o móvel. Pois segundo

tabela de propriedades térmicas do Comitê Brasileiro de Construção Cível da Associação Brasileira de Normas Técnicas, a condutividade térmica do aglomerado é de 0,17 W/(m.K).

O cálculo da transferência térmica entre o ambiente e o interior do armário pode ser definida pela equação 6.4.

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T \quad (6.4)$$

Em que U é taxa de transferência térmica dada em W/K, A é a área das paredes do móvel calculada na Equação 6.5 e ΔT a diferença de temperatura entre o ambiente externo e interno.

$$A = Largura \cdot Altura \quad (6.5)$$

$$A_{posterior} = 1,140 \cdot 0,720 = 0,8208 \text{ m}^2$$

$$A_{2 \text{ laterais}} = 2 \cdot 1,140 \cdot 0,350 = 0,798 \text{ m}^2$$

$$A_{frontal} = 1,140 \cdot 0,720 = 0,8208 \text{ m}^2$$

$$A_{superior} = 0,350 \cdot 0,720 = 0,252 \text{ m}^2$$

$$A_{inferior} = 0,350 \cdot 0,720 = 0,252 \text{ m}^2$$

$$A_{total} = 0,8208 + 0,798 + 0,8208 + 0,252 + 0,252 = 2,9436$$

O Coeficiente U é o inverso da resistência térmica R_T , calculada por meio da Equação 6.6.

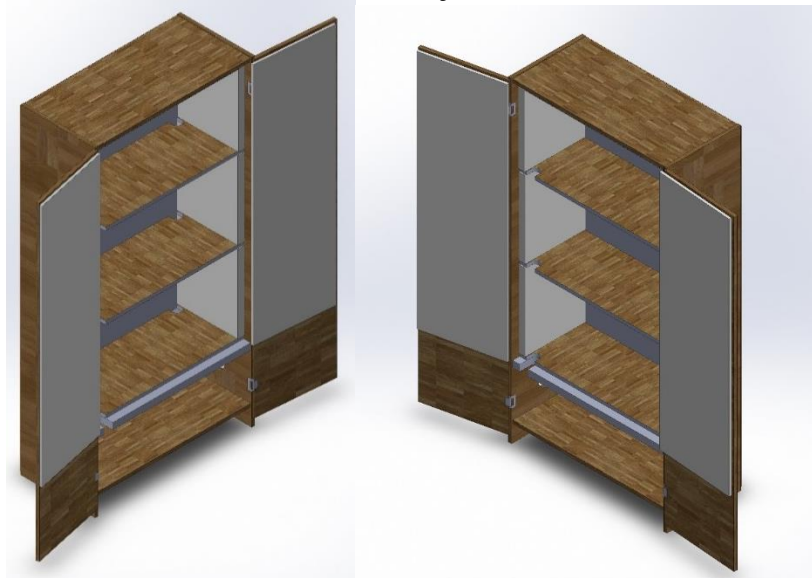
$$R_T = \frac{L_{parede}}{\lambda_{parede}} = \frac{0,015}{0,17} = 0,08823 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \quad (6.6)$$

Em que L é a espessura da parede e K é condutividade térmica do material. Sendo assim, o móvel com apenas com as paredes em aglomerado, apresentam uma transferência térmica Q calculada a seguir, considerando uma diferença de temperatura de 10°C.

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T = \frac{1}{0,08823} \cdot 2,9436 \cdot 10 = 333,62 \text{ W}$$

Utilizando apenas as paredes do gabinete como isolamento, a transferência térmica é superior aos 180 watts citados anteriormente, para alimentação do gabinete durante o transporte. Além de ser necessário mais de 4 pastilhas termoelétricas de 60 watts para manter uma diferença de temperatura de 10°C no interior do móvel. Sendo assim, um isolamento em isopor foi planejado com espessura de 30 milímetros, conforme a Figura 6.6.

Figura 6.6 - Gabinete com isolamento e adaptação para passagem dos tubos de ventilação



Fonte: Autor (2018).

Este isolamento proporcionará uma resistência térmica maior que será somado ao do aglomerado, a condutividade térmica k do isopor é de $0,040 \text{ W/m} \cdot \text{K}$. Com a resistências térmicas para as duas espessuras do isopor estão na Equação 6.7.

$$R_{T30mm} = \frac{L_{30mm}}{\lambda_{isopor}} = \frac{0,030}{0,04} = 0,75 \frac{m^2 K}{W} \quad (6.7)$$

A condução térmica é calculada na Equação 6.8, com distinção entre cada espessura do isolamento com a soma das resistências.

$$Q = (U_{30mm \text{ Isopor} + \text{aglomerado}} \cdot (A_{frontal} + A_{posterior} + A_{2laterais} + A_{superior} + A_{inferior}) +) \cdot \Delta T \quad (6.8)$$

$$Q = \left(\left(\frac{1}{0,75 + 0,08832} \right) \cdot (0,8208 + 0,8208 + 0,798 + 0,252 + 0,252) \right) \cdot 10$$

$$Q = (1,1928 \cdot (2,9436)) \cdot 10 = 35,11 \text{ Watts}$$

Sendo assim, o sistema de resfriamento contará com 2 pastilhas termoelétricas TEC1 – 12706 de 50 watts cada, suprindo o sistema. Os tubos que circulam o ar foram projetados para ficarem nas extremidades opostas, um próximo a porta a esquerda e o outro no fundo a direita, a fim de garantir uma boa circulação do ar.

A implementação das adaptações começou com o desmonte do móvel, para corte das prateleiras, a fim de comportar o isolamento de isopor, sendo reduzido de 350 milímetros de largura para 290 milímetros. Além de furos de 40 milímetros de diâmetro para passagem dos tubos. Em paralelo, foi encomendado de uma marcenaria, chapas de

3 milímetros em MDF, para dar acabamento ao isopor, já nas dimensões para o encaixe no móvel.

Os painéis de isolamento foram cortados com um estilete, a partir de chapas com 2.700 milímetros por 1.200 milímetros e colados com cola branca, nas chapas de MDF. Após a fixação de 8 cantoneiras de aço nos 4 cantos internos do móvel, foram montados os painéis no móvel novamente, com cola branca e parafusos.

Após a montagem foi percebido que devido a espessura do MDF não ter sido considerada no modelo em CAD, as portas do armário não fechavam corretamente. Por isso foi substituído o isolamento das portas (frontal) por uma chapa de 10 milímetros de isopor, que havia à disposição. A Figura 6.7 mostra o gabinete após a montagem do isolamento e tubos para a circulação de ar.

Figura 6.7 - Gabinete com o isolamento e tubos de circulação de ar



Fonte: Autor (2018).

Com isso, um vão de cerca de 9 milímetros entre as prateleiras e as portas permitia a passagem de ar para fora das prateleiras refrigeradas. Então, foi desenvolvido uma série de aletas em EVA para dar certa vedação ao entre as portas e os cantos das prateleiras. Também foi adicionado 2 trancas que prendem uma porta a outra e uma por dentro para forçar a porta a ficar bem fechada, estando disponível na Figura 6.8 o detalhe desta tranca.

Figura 6.8 – Aletas de isolamento e trancas



Fonte: Autor (2018).

Com esta tranca, as aletas ficam pressionadas contra as prateleiras, impedindo a circulação de ar.

Os tubos utilizados para a circulação do ar são de PVC, com 40 milímetros de diâmetro, com 10 furos de 6 milímetros de diâmetro em cada prateleira, para que haja uma circulação de ar semelhante entre todas elas. Com pintura preta, estes tubos foram encaixados nos furos feitos nas prateleiras, não sendo necessária fixação extra, devido ao encaixe justo e deformação dos tubos.

Na parte inferior ainda pode-se ver as duas câmaras feitas de tubos de 100 milímetros de diâmetro onde foram colocados os sistemas de controle de temperatura e UR.

O sistema de controle é composto por dois atuadores: as pastilhas termoeletricas para controle de temperatura e resistências para o controle de UR. Na Figura 6.9 estão os dois sistemas montados, a esquerda está o dissipador das pastilhas e a direita as resistências. Ambos alimentados por uma fonte chaveada, com tensão de 12 Volts e corrente de 20 amperes.

Figura 6.9 - Sistemas de controle no gabinete



Fonte: Autor (2018).

As duas pastilhas termoelétricas TEC1-12706 de aproximadamente 60 watts foram colocadas entre os dissipadores de alumínio. No lado frio há um dissipador para cada pastilha, com dimensões de 40mm x 40mm x 50mm. No lado quente, fora do tubo, há um dissipador maior de 150mm x 200mm x 20mm, com um ventilador de 12V (semelhante ao de computadores) para auxiliar na dissipação do calor. Esta montagem pode ser observada na Figura 6.10.

Figura 6.10 - Montagem do sistema de refrigeração

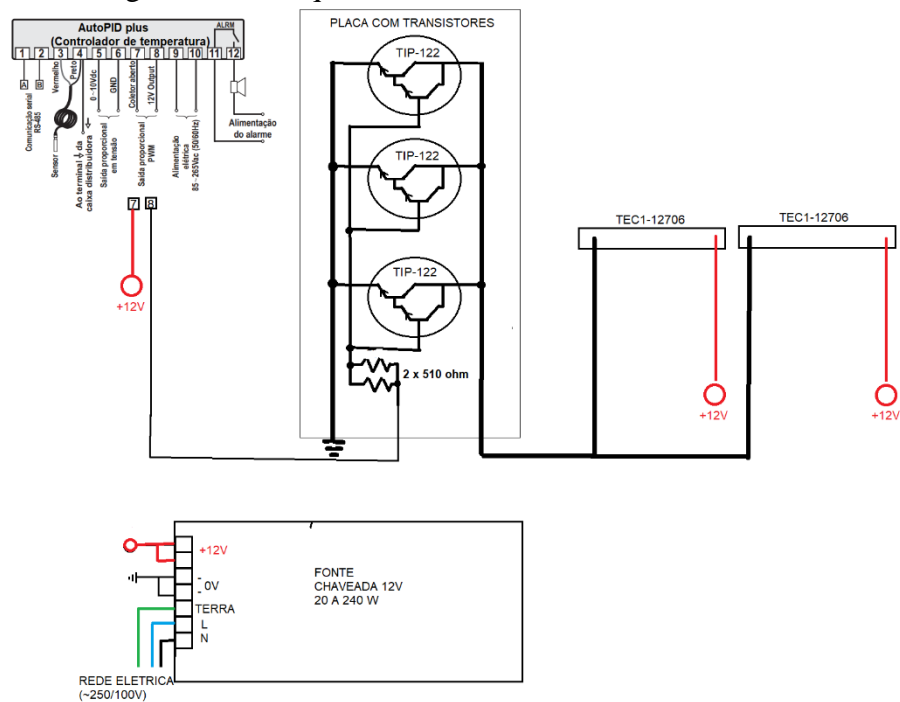


Fonte: Autor (2018).

O acionamento deste conjunto se dará por 3 transistores Tip-122, na configuração *Darlington*, com capacidade de até 5 amperes, segundo especificações do fabricante. Os 3 transistores foram montados em uma placa, estando em paralelo para suportar a corrente de até 5 amperes, a 12 volts, de cada pastilha termoelétrica.

Foi testado o acionamento com apenas com 2 transistores, mas a queda de tensão e aquecimento eram excessivos, então foi adicionado mais um para sanar este problema. A queda de tensão foi de 3 volts para apenas dois Tip-122, para menos de 1 volt quando usado 3 transístores. O controlador utilizado para atuar as pastilhas foi o AutoPID plus, doado pela fabricante Full Gauge, o esquema de ligação entre os componentes está na Figura 6.11.

Figura 6.11 - Esquema elétrico do sistema de resfriamento



Fonte: Autor (2018).

A alimentação deste controlador é por corrente alternada, com tensão de 127 volts ou 220 volts. Entretanto, a tensão que estaria disponível durante o transporte em um veículo é de apenas 12 Volts e de forma contínua. Sendo assim, foi aberto e analisado os componentes internos deste controlador, por ser extremamente modular foi simples encontrar o circuito que convertia a tensão 220 volts para contínua a 12 Volts. Com este circuito removido e os terminais de saída de tensão alimentados diretamente pela fonte de 12 volts, é possível alimentar o controlador, mesmo com uma tomada veicular comum, com este nível de tensão.

O sistema de controle de umidade relativa é realizado por meio do aquecimento do ar húmido e frio vindo do sistema de controle de temperatura. Foram utilizadas 6 resistências de 22 ohms, com 10 watts de dissipação de potência, em paralelo, capazes de

produzir aproximadamente 40 watts no total, quando aplicado 12 volts, conforme cálculo de corrente pela Lei de Ohm, expressa na Equação 6.9 e a potência dissipada em forma de calor na Lei de Joule na Equação 6.10.

$$V = R \cdot I \quad (6.9)$$

$$12 = 22 \cdot I$$

$$I = \frac{12}{22} = 0,5454 \text{ A}$$

$$P_{resistor} = V \cdot I \quad (6.10)$$

$$P_{resistor} = 12 \cdot 0,5454 = 6,54 \text{ W}$$

$$P_{total} = P_{resistor} \cdot n_{resistores}$$

$$P_{total} = 6,54 \cdot 6 = 39,2727 \text{ W}$$

Esta potência foi escolhida após teste medindo a temperatura de entrada e saída, foi possível atingir uma diferença de temperatura de cerca de 8°C. Também foi montado junto as resistências um ventilador para forçar a circulação de ar pelos tubos, como visto na Figura 6.12.

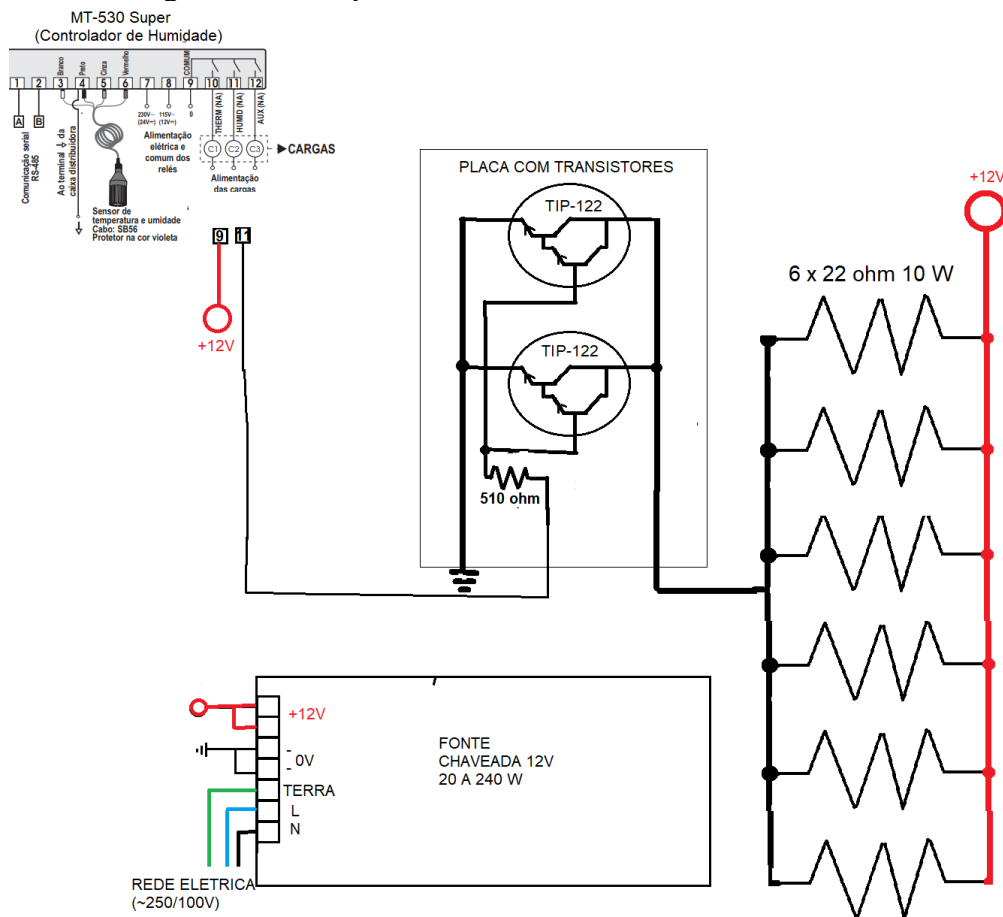
Figura 6.12 - Sistema para aquecimento do ar



Fonte: Autor (2018).

O acionamento destas resistências é semelhante ao das pastilhas. Entretanto, pela potência ser menor, foi utilizado apenas 2 transistores TIP-122 e uma resistência de 510 ohm na base, conforme Figura 6.13. O controlador de umidade relativa e temperatura utilizado foi um MT-530 Super, também da Full Gauge.

Figura 6.13 - Esquema elétrico do sistema de controle de UR



Fonte: Autor (2018).

Assim como foi realizado com o controlador de temperatura, foi removido o circuito de alimentação e ligado diretamente à fonte chaveada. O ventilador também foi alimentado pela fonte diretamente.

Os ensaios foram realizados com temperatura de 22°C e umidade relativa de 54%UR, sendo ligado o ambos os sistemas com *setpoint* de 18°C e umidade de 40%UR, para analisar sua eficácia pois os parâmetros de 20°C ± 5°C e 50%UR ±10% de umidade relativa, não permitiria atuação significativa dos sistemas. Com valores inferior o resfriamento e controle de umidade começaram a atuar.

A umidade relativa atingiu 40%UR em cerca de 10 minutos após ligar o sistema. Entretanto a temperatura não foi controlada, atingindo 28°C no mesmo tempo, o que obviamente causou a baixa na UR até o ponto desejado. O sistema de controle de temperatura não foi capaz de resfriar o ambiente do armário dentro de 20 minutos de experimento, mesmo quando foi desligado o controle de UR (que aquece o ar).

O acionamento das pastilhas, então, foi realizado diretamente e medindo a tensão sobre as partilhas termoeletricas, o que confirmou 11,58 volts. Então, foi dispendido mais 10 minutos e a temperatura continuou próximas aos 25°C, não sendo possível alcançar valores inferiores até este momento.

O sistema de controle de umidade funcionou corretamente, entretanto os demais testes foram parados, a fim de solucionar os problemas com o controle de temperatura. Apesar do dimensionamento superior de 120 watts de transferência térmica das pastilhas, em face a potência térmica estimada de 35 watts, o sistema foi incapaz de resfriar o gabinete.

Foi levantado a hipótese de haver ligado erroneamente as pastilhas, entretanto foram abertos o sistema e os dissipadores trocados a fim de verificar se ambos estavam resfriando e, portanto, corretamente conectados, o que foi confirmado, a ligação estava correta. O resfriamento dos dissipadores acontecia, mas não era suficiente para resfriar o gabinete inteiro.

O que pode ter causado no aumento da carga térmica foi a troca do isolamento de 30mm nas portas por uma espessura de 10mm, o que reduziu a resistência térmica do móvel. Além de não ter sido considerado a transferência térmica dos tubos dos sistemas de controle, que ficaram na parte inferior do móvel e que é mais quente que o ambiente devido ao aquecimento dos transistores e do dissipador do lado quente das pastilhas. Mesmo com um ventilador realizando a circulação do ar na secção inferior do móvel com o ambiente, como pode ser visto na Figura 6.14, a temperatura ultrapassou os 28°C.

Figura 6.14 – Ventilação da secção inferior do móvel.



Fonte: Autor (2018).

A fim de ter certeza do impacto desta troca do isolamento, os cálculos da transferência térmica foram refeitos e estão a seguir.

$$R_{T10mm} = \frac{L_{10mm}}{\lambda_{isopor}} = \frac{0,010}{0,04} = 0,25 \frac{m^2 K}{W}$$

$$R_{T30mm} = \frac{L_{30mm}}{\lambda_{isopor}} = \frac{0,030}{0,04} = 0,75 \frac{m^2 K}{W}$$

$$Q = ((U_{10mm \text{ Isopor+Agglomerado}}) \cdot A_{frontal} + (U_{30mm \text{ Isopor+agglomerado}}) \cdot (A_{posterior} + A_{2laterais} + A_{superior} + A_{inferior})) \cdot \Delta t$$

$$Q = \left(\left(\frac{1}{0,25+0,08832} \right) \cdot 0,8208 + \left(\frac{1}{0,75+0,08832} \right) \cdot (0,8208 + 0,798 + 0,252 + 0,252) \right) \cdot 10$$

$$Q = (2,424 + 1,192 \cdot (2,12)) \cdot 10 = 76 \text{ Watts}$$

De fato, a transferência térmica foi duas vezes superior ao estimado inicialmente, mas ainda não superior ao das pastilhas. Contudo, a transferência térmica dos tubos na secção inferior do gabinete também é impactada conforme cálculo seguinte, considerando a condutibilidade térmica das paredes dos tubos de PVC de 0,20 W/(m . K), espessura do tubo de 1,5 milímetro, comprimento somado dos 2 tubos de 100 milímetros igual a 0,5 metro e 0,25 metro o comprimento dos tubos de 40 milímetros.

$$R_{pvc} = \frac{L_{PVC}}{\lambda_{PVC}}$$

$$R_{pvc} = \frac{0,0015}{0,2} = 0,0075 \frac{m^2 K}{W}$$

$$A_{tubo} = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot Comprimento + \pi \cdot r^2$$

$$A_{tubo \ 100mm} = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,05 \cdot 0,5 + 3,14 \cdot 0,05^2$$

$$A_{tubo \ 100mm} = 0,165 \text{ m}^2$$

$$A_{tubo \ 40mm} = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,02 \cdot 0,25$$

$$A_{tubo \ 40mm} = 0,0314 \text{ m}^2$$

$$Q = (A_{tubo \ 100mm} + A_{tubo \ 40mm}) \cdot U_{pvc} \cdot \Delta T$$

$$Q = (0,165 + 0,0314) \cdot \frac{1}{0,0075} \cdot 10 = 261,8 \text{ W}$$

A falta de isolamento dos tubos gera uma transferência térmica que supera muito a capacidade de resfriamento das pastilhas. Este é o motivo mais provável da falha no controle de temperatura.

Uma possível abordagem seria o isolamento destes tubos com material maleável e com baixa condutividade térmica. Como lã de vidro, com espessura de 10 milímetros, reduziria a transferência térmica consideravelmente como calculado a seguir.

$$R_{l\tilde{a}} = \frac{L_{l\tilde{a}}}{\lambda_{l\tilde{a}}}$$

$$R_{l\tilde{a}} = \frac{0,01}{0,045} = 0,222 \frac{m^2 K}{W}$$

$$Q_{tubo} = (A_{tubo\ 100mm} + A_{tubo\ 40mm}) \cdot U_{pvc+l\tilde{a}} \cdot \Delta T$$

$$Q_{tubo} = (0,165 + 0,0314) \cdot \frac{1}{0,0075 + 0,222} \cdot 10 = 8,55 W$$

Com uma transferência térmica de 8,55, aliado aos 76 watts das perdas pelas paredes, a transferência total seria de 84,55 watts, ou seja, seria possível controlar a temperatura com esta abordagem. Entretanto, como o sistema de controle de umidade relativa afeta o aumento da carga térmica, faz-se necessário reduzir um pouco mais esta taxa, uma possibilidade é adicionar lã de vidro a porta, o que melhoraria tanto o isolamento térmico, como a vedação das portas. A seguir foi recalculado a transferência térmica total do gabinete com a lã de vidro.

$$Q = ((U_{10mm\ Isopor+Aglomerado+l\tilde{a}}) \cdot A_{frontal} + (U_{30mm\ Isopor+aglomerado}) \cdot (A_{posterior} + A_{2laterais} + A_{superior} + A_{inferior})) \cdot \Delta t$$

$$Q = \left(\left(\frac{1}{0,25 + 0,08832 + 0,22} \right) \cdot 0,8208 \right. \\ \left. + \left(\frac{1}{0,75 + 0,08832} \right) \cdot (0,8208 + 0,798 + 0,252 + 0,252) \right) \cdot 10 \\ Q = (1,47 + 1,192 \cdot (2,12)) \cdot 10 = 39,97\ Watts$$

$$Q_{total} = Q + Q_{tubo} + P_{total\ das\ Resist\ências}$$

$$Q_{total} = 39,97 + 8,55 + 39,27 = 48,52\ Watts$$

Portanto o uso de lã de vidro para melhorar o isolamento possivelmente resolveria esta problemática. Outra abordagem como o aumento da potência das pastilhas também poderia sanar este problema também, mas a limitação dos 180 watts impossibilitaria a movimentação do gabinete.

No caso da movimentação do armário, ainda não foi implementado a tomada de 12 volts, para manter seu funcionamento durante o transporte, pois a prioridade é solucionar o controle de temperatura.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de um gabinete com controle ambiental para conservação de livros ainda não foi testado satisfatoriamente. Problemas com o isolamento não permitiram uma análise concreta de sua aplicabilidade. Sendo a instalação de uma nova camada de isolamento nos tubos na secção inferior e nas portas a abordagem mais válida tendo em vista a análise anterior.

Entretanto, com todo o desenvolvimento, foi possível aplicar os diversos conhecimentos apreendidos no decorrer do curso. O acionamento das pastilhas e das resistências foi desenvolvido com as informações obtidas nos componentes curriculares de circuitos elétricos, acionamentos e eletrônica de potência. Já o dimensionamento do isolamento foi aprendido nos componentes curriculares de Física, com o conteúdo de termodinâmica, o conhecimento para configuração dos controladores foi obtido nas disciplinas de sistemas de controle.

Foi, sem dúvidas, uma experiência de aprendizagem que melhorou os conhecimentos de gestão de projetos, eletrônica e termodinâmica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FERREIRA, Lucas Cardozo. **Desenvolvimento de sistema de acondicionamento de livros raros, automatizado e com características de mobilidade**. 2018. 51 f. Monografia (Graduação) - Curso de Tecnólogo em Automação Industrial, Universidade Estadual do Rio Grande do Sul - Uergs, Porto Alegre, 2018. Disponível em: <https://repositorio.uergs.edu.br/xmlui/handle/123456789/2400>. Acesso em: 30 jun. 2023.

GÜTHS, Saulo. MONITORAMENTO E CONTROLE TÉRMICO PARA PRESERVAÇÃO DE ACERVOS. **Registro: Revista do Arquivo Público Municipal de Indaiatuba**, [s. l.], p. 1–72, 2004. Disponível em: http://www.promemoria.indaiatuba.sp.gov.br/arquivos/galerias/registro_3.pdf Acesso em: 30 jun. 2023.

HENDERSON, Jane. Managing the library and archive environment. **Preservation Advisory Centre**, [s. l.], p. 151–156, 2002.

JUNIOR, Jayme Spinelli. **A Conservação de Acervos Bibliográficos & Documentais**. Rio De Janeiro. Disponível em: <http://www.bn.br/portal/arquivos/pdf/manualjame.pdf> Acesso em: 30 jun. 2023.

KRONBAUER, Ana Claudia. Universidade Tecnológica Federal do Paraná Projeto e Construção de um Mini Refrigerador Com. UFTPR, 2013. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1381/1/MD_COMIN_2012_2_03.pdf Acesso em: 30 jun. 2023.

MONTEITH, John; UNSWORTH, Mike. **Principles of Environmental Physics: Plants, Animals, and the Atmosphere: Fourth Edition.** [s.l.: s.n.].

PARK, S. C. HVAC For Historic Buildings. In: **ASHRAE Journal.** [s.l.: s.n.]. p. 91–98.

RIFFAT, S. B.; MA, Xiaoli. Thermoelectrics: A review of present and potential applications. **Applied Thermal Engineering**, [s. l.], v. 23, n. 8, p. 913–935, 2003.

7

SISTEMA DE TRANSPORTADORES AUTÔNOMOS INTERATIVOS NO CONTEXTO DA INDÚSTRIA 4.0

Bruno Luiz De Pizzol

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo sintetiza o trabalho de conclusão de curso de Pizzol (2019), ao investigar os sistemas de transporte aplicados em manufatura industrial, no contexto de indústria 4.0.

Os requisitos de manufatura industrial apontam uma necessidade de reconfiguração e reprogramação do fluxo de processos, a fim de atender a modificações no produto com as mudanças dos requisitos de mercado (Mendes *et al.*, 2008). Ainda de acordo com os autores, estas mudanças implicam em alterações no processo de fabricação, o que, em muitos casos, significa alterar o leiaute, alterando o fluxo de processo pelo qual o produto a ser manufaturado deve seguir (Mendes *et al.*, 2008).

Tendo por base essa necessidade de revolucionar os meios produtivos, surgiu a Indústria 4.0, intitulada também como a 4ª Revolução Industrial. Essa revolução permite que os mundos virtuais e físicos se fundam ao redor da planta operacional, através de conexão digital, formando assim uma cadeia de valor integrada (Hermann; Pentek; Otto, 2015).

Partindo dessa premissa, “o planejamento de recursos e fluxo produtivo necessitam serem constantemente alterados no sistema produtivo, a fim de atender as variações de produtos que são demandados pelo mercado” (Peixoto; Pereira, 2018, p. 527).

A alta competitividade e a demanda por eficiência proporcionam alterações no sistema de manufatura, o que exige uma maior flexibilização sob diversos aspectos, tais

como o volume de produtos produzidos e o tipo de produto (Silva, 2006). Com base nessa necessidade é que o Sistema Flexível de Manufatura (*Flexible Manufacturing System - FMS*) “vem sendo apresentado como uma opção de tecnologia na automação dos processos condizente com as características de produção de significativa parcela do mercado” (Maggio, 2005, p. 2), uma vez que este tem como função o auxílio na recuperação da competitividade, através de melhorias tanto na produtividade quanto na qualidade dos produtos (Rezaie; Ostadi, 2017).

Um dos fatores que tem aumentado a flexibilização do processo fabril é a utilização de robótica móvel, por meio dos Veículos Guiados Autonomamente (*Automated Guided Vehicle - AGVs*), que possuem facilidade de integração com demais sistemas de automação da indústria (Rocha, 2010). De acordo com Galdames (2011), os AGVs são transportadores projetados para auxiliar a indústria a alcançar o máximo de produtividade, com uma quantidade mínima de custos. Além disso, com os avanços tecnológicos e a redução no custo na área de eletrônica os AGVs passaram a armazenar instruções, nas quais são traçadas rotas em conjunto com o mapa do ambiente, que servem para a tomada de decisão (Barbera; Perez, 2010).

Com a correta definição do posicionamento dos obstáculos, o robô AGV pode ser capaz de montar um mapa e determinar sua posição dentro deste ambiente (Vilas Boas, 2011), o que permite que a rota seja definida e que a navegação oriunda desta seja realizada de forma autônoma. A navegação consiste em um conjunto de comportamentos que demonstram as iniciativas que devem ser tomadas para que se alcance um objetivo final (Santos, 2017). Ainda de acordo com o mesmo autor, “definida a trajetória, um ou mais robôs poderão usar essas ações e comportamentos para alcançar o destino” (Santos, 2017, p.23).

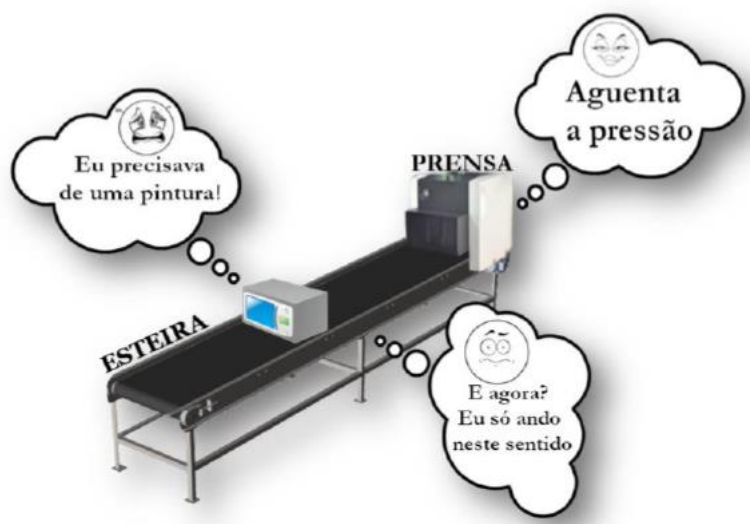
Essa comunicação se dá através da internet das coisas (*Internet of Things – IoT*), que tem se destacado no cenário moderno das telecomunicações sem fio, uma vez que utiliza como ideia principal a presença difundida ao redor dos indivíduos, por meio de diferentes objetos (Azevedo, 2017).

A combinação de todos esses fatores origina a problemática desta pesquisa, em que um ambiente cada vez mais integrado, no qual a complexidade a variabilidade e o volume de produção estão em constante mudança, tem-se a necessidade de uma maior coordenação de uma logística interna de produção, com os recursos da manufatura. A logística interna de produção é um segmento da indústria automatizada, que é responsável por gerir e controlar a mão-de-obra, bem como os recursos e informações referentes ao

processo fabril. Tal fato leva as empresas de manufatura voltarem seus esforços na eliminação de desperdício e de atividades que não acrescentem valor ao produto (Rocha, 2010).

Visando corroborar com a necessidade descrita, o presente estudo envolve o problema de transportar peças entre máquinas em um sistema de manufatura de fluxo produtivo dinâmico, ou seja, sistema fabril que sofre alterações durante os processos de fabricação. A necessidade de demanda de produtos customizados, requer um sistema de manufatura que possa se auto-organizar. A Figura 7.1, observada a seguir, faz uma ilustração do problema.

Figura 7.1 - Ilustração do problema a ser investigado

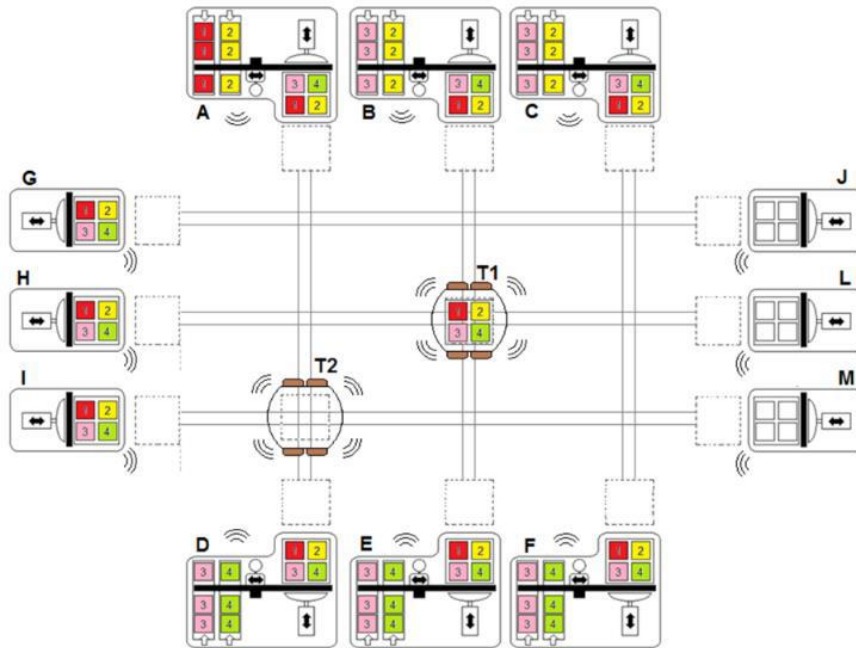


Fonte: Autor (2019).

Neste esboço, fica evidente que um fluxo de processos não consegue a flexibilidade necessária se o transportador não for tão flexível quanto.

Como hipótese, se apresenta como solução do problema o uso de transportadores que sejam autônomos, com grau de interação, capazes de terem seus serviços solicitados por terceiros, atendendo à necessidade de auto-organização em um sistema de manufatura, se apresenta como solução. A Figura 7.2 mostra um esboço do sistema proposto.

Figura 7.2 - Esboço do sistema de transporte proposto no estudo



Fonte: Autor (2019).

Nesta figura se percebe dois transportadores, T1 e T2, que compartilham as mesmas rotas para atingir os recursos A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, L e M, permitindo que o produto a ser manufaturado possa ser transportado aos recursos, com alto grau de flexibilidade. Agregado a proposta de interação entre os AGVs, para que ao compartilharem rotas não haja colisão.

O objetivo geral deste trabalho é verificar se um sistema de transportadores autônomos interativos pode atender a demanda de transporte em um sistema de fabricação diferenciado, que não seja de produção em linha.

Para alcançar o objetivo geral, o trabalho foi segregado nos seguintes objetivos específicos:

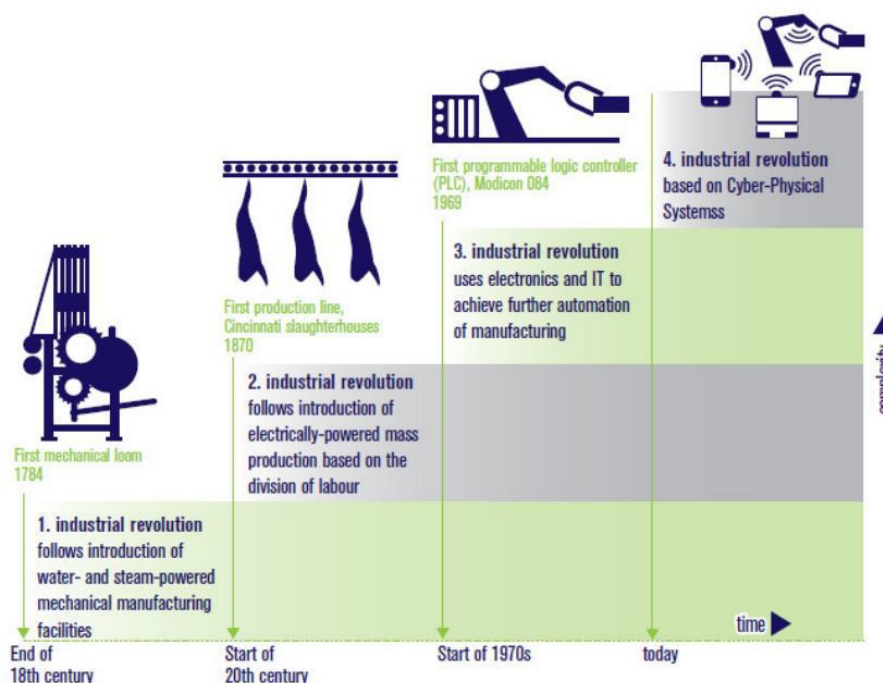
- a) montagem dos transportadores;
- b) montagem da pista;
- c) teste do sistema de transporte.

A interação proposta para os transportadores vai ao encontro das premissas de Indústria 4.0. De acordo com Kagermann *et al.* (2013) a Indústria 4.0 é uma iniciativa que foi estabelecida pelo governo Alemão em 2012 para manter a competitividade em indústrias manufatureiras.

Esta nova revolução é caracterizada pelo uso intensivo de tecnologias digitais com o intuito de fabricar novos produtos de forma rápida, com uma ágil resposta à demanda e otimização em tempo real da produção e da cadeia de suprimentos (Azevedo, 2017, p.20).

No futuro, as empresas estabelecerão conexões globais que incorporarão os maquinários, bem como sistemas de armazenamento e instalações de produção. Esses sistemas “compreendem máquinas inteligentes, sistemas de armazenamento e instalações de produção capazes de trocar informações de forma autônoma, acionando ações e controlando umas às outras de forma independente” (Kagermann *et al.* 2013, p. 5). A Figura 7.3 resume os 4 estágios da revolução industrial.

Figura 7.3 - Os quatro estágios da revolução industrial



Fonte: Kagermann *et al.* (2013).

A Indústria 4.0 “é marcada pelo conjunto de mudanças nos processos de manufatura, design, produto, operações e sistemas relacionados à produção, aumentando o valor na cadeia organizacional e em todo o ciclo de vida do produto” (Peixoto; Pereira, 2018). De acordo com Schwab (2016), a nova revolução tem como característica o uso intenso de tecnologias digitais, que visam uma maior flexibilidade na cadeia de produção, através da fabricação de novos produtos de forma rápida, com uma resposta ágil às demandas e com maior otimização do tempo. Tendo em vista a necessidade de

flexibilização das linhas de produção, buscou-se a criação de um novo sistema de manufatura, que são os sistemas flexíveis de manufatura.

E dentro desta flexibilidade, os transportadores passam a ter um papel destacado em uma manufatura avançada. Na literatura científica tem-se que “sistemas avançados de manufatura automatizada são amplamente utilizados em empresas industriais, quando os objetivos de produtividade precisam ser alcançados” (Fazlollahtabar; Zandieh, 2010, p.1, tradução do autor). De acordo com Galdames (2011), os “AGVs (*Automated Guided Vehicle*) são transportadores robóticos projetados para ajudar a indústria a alcançar alta produtividade com um mínimo de custo”, uma vez que estes reduzem os custos incorridos durante a fabricação e aumentam a eficiência de um sistema de manufatura (Fazlollahtabar, Mahdavi-Amiri, 2010).

De acordo com Barbera *et al.* (2003) os AGVs ficaram mais inteligentes devido ao avanço da tecnologia e dos menores custos em microeletrônica e microcomputadores. Isso permitiu o armazenamento de instruções sobre rotas e a tomada de decisões. Corroborando com o mencionado anteriormente, tem-se que a capacidade de incorporar autonomia, as operações de alta velocidade, a confiabilidade e a precisão transformam a robótica móvel em uma alternativa atraente, quando comparada aos processos manuais tradicionais com situações altamente repetitivas ou de difícil manuseio pelos seres humanos (Vivaldini, 2010).

Um exemplo de AGV industrial está na Figura 7.4.

Figura 7.4 – Exemplo de veículo guiado autonomamente



Fonte: Vivaldini (2010).

Em relação ao um AGV, pode-se dizer que “o sistema utilizado num veículo guiado automaticamente é um sistema manipulador de material que trabalha independentemente, autopropulsado, guiado através de rotas ou caminhos definidos” (Cano, 2006, p.26).

Através de um conjunto de sensores, sistemas de controle e atuadores, é possível determinar as melhores opções de rotas e executar estas ações de forma mais segura e confiável (Branisso, 2014). Com base nisso, “um AGV pode ter quantas rotas for necessário, basta que cada uma tenha um circuito que emita sinais diferentes de frequência e programá-lo de forma lógica” (Souza, Royer, 2013, p. 9).

De acordo com Vivaldini (2010), um problema chave na logística dos armazéns é a geração de rotas que sejam eficientes, ao passo que a produtividade depende da estratégia de roteamento que é adotada.

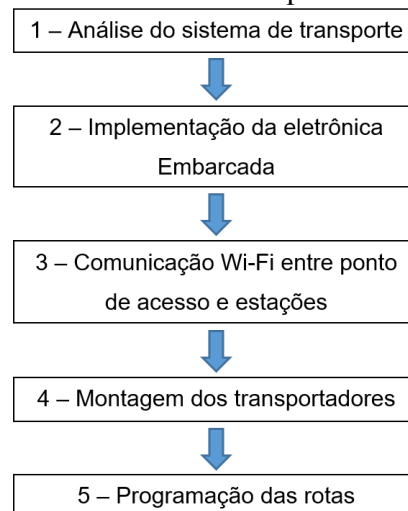
2 METODOLOGIA

O método utilizado no projeto prevê o uso de um processo de análise dos transportadores e suas funcionalidades, para definir a estrutura dos veículos, o formato da pista e a técnica de localização, cujo próximo passo é montar os circuitos de eletrônica embarcada, para que seja integrada aos veículos como forma de estações e para integrar o ponto de acesso. O passo seguinte é implementar a comunicação *wi-fi* entre o ponto de acesso e as estações, que será a forma de interação entre os AGVs.

Realizado isso, dá-se início a etapa de montagem dos transportadores, que serão montados em um chassi de acrílico, onde será embarcada a eletrônica montada anteriormente. E, por fim, será realizada a programação das rotas.

A Figura 7.5 mostra o fluxo do método que será aplicado no projeto.

Figura 7.5 - Fluxo do método aplicado neste estudo



Fonte: Autor (2019).

A pesquisa acontece dentro de um universo industrial, no qual se busca dinamismo no transporte de peças ou produtos entre máquinas, provendo um sistema de manufatura flexível. Deste modo, a pesquisa tem uma abrangência qualitativa, visto que o objetivo geral do trabalho se propõe a verificar se um sistema de transportadores autônomos interativos pode atender a demanda de transporte, em um sistema de fabricação diferenciado.

A simulação da planta de manufatura industrial se dá sobre uma plataforma elaborada em MDF, de cor branca, que significará o chão da fábrica. As trajetórias serão confeccionadas com fita adesiva do tipo isolante, na cor preta, com 18mm de largura. Conforme a solicitação de rota, os veículos devem se deslocar de máquina em máquina, provendo uma sequência de manufatura dinâmica, através de uma malha de controle clássico. Os veículos devem ser guiados pela fita guia, monitorando o percurso com sensores infravermelho, acoplados na parte frontal inferior dos transportadores, e os sensores de código, também acoplados no transportador, serão responsáveis por detectar o código da posição do veículo nas intersecções.

A interatividade entre os transportadores acontece através de um sinal *wi-fi* emitido pelo ponto de acesso, que também faz o gerenciamento da posição através dos códigos recebidos das estações conectadas, e responde com um código de ação que será interpretado pelo veículo, ou seja, os transportadores não trocam informações diretamente um com o outro. O método de implementação do protótipo funcional pode ser visto na Figura 7.6.

Figura 7.6 - Diagrama ilustrativo do projeto em estudo



Fonte: Autor (2019).

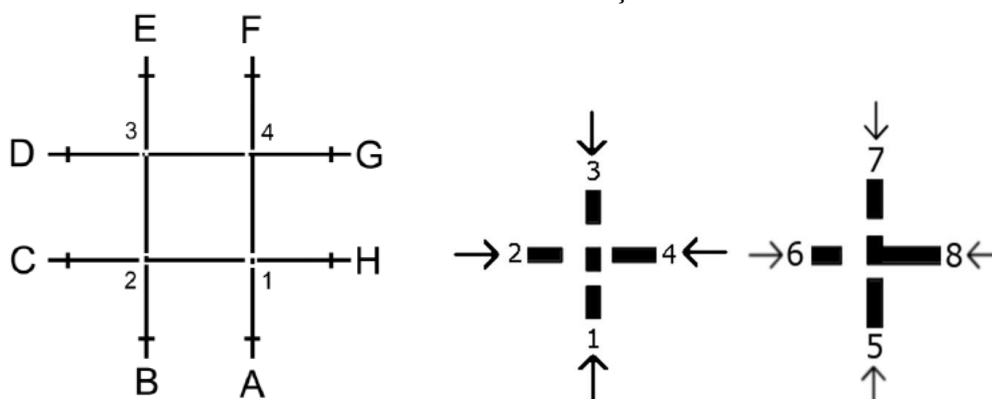
Nesta ilustração, se percebe a conexão sem fio entre o transportador e o ponto de acesso, garantindo maior mobilidade ao AGV.

No método proposto, os transportadores se deslocarão de um ponto a outro, através de uma fita guia, para a localização dos AGVs, em que é utilizada uma técnica que consiste em colocar dois códigos lógicos dispostos de 90° em cada intersecção. A escolha da utilização de fita preta como guia se deu pelo baixo custo e pela facilidade de implementação. Utilizaram-se sensores infravermelhos para detectar tonalidades de cor, na qual, para cada intersecção são necessários 2 códigos, sendo que a pista completa contém 4 intersecções, e necessita de 8 códigos para originar 16 combinações diferentes. Através desta técnica será possível determinar a posição dos transportador, toda vez que ele cruzar por qualquer ponto de intersecção.

Os pontos identificados pelas letras C, D, E, F, G e H, simulam máquinas alocadas em uma planta industrial. Já as intersecções estão identificadas pelos números 1, 2, 3 e 4, de tal modo que os pontos A e B fiquem reservados para descanso dos transportadores.

A Figura 7.7 mostra a pista completa com a identificação dos pontos de máquinas, descanso e intersecções.

Figura 7.7 – Pista de testes utilizada no estudo de transportadores e seus códigos para identificar as intersecções

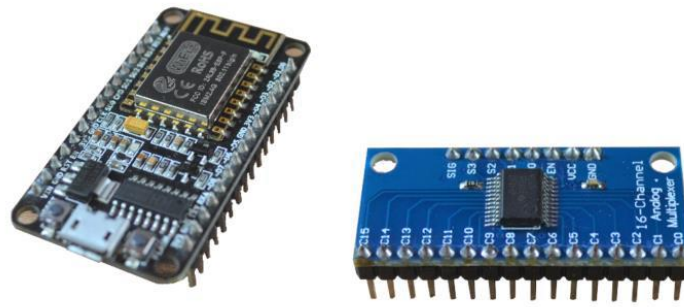


Fonte: Autor (2019).

Os pontos de descanso servirão para quando os veículos estiverem sem requisição de transporte, sendo que estes serão automaticamente direcionados aos espaços e ficarão abrigados em uma garagem, se protegendo do ambiente e liberando espaço na pista. Na figura, pode-se verificar mais detalhes das intersecções 1 e 2, sendo que as setas indicam a direção que os transportadores podem chegar. Ao passar pelo ponto central da intersecção, o veículo faz a leitura de um código binário de 5 bits, na intersecção 1, os códigos gerados são 1, 2, 3 e 4, na intersecção 2, os códigos são 5, 6, 7 e 8, e assim sucessivamente para as outras duas intersecções.

O microcontrolador utilizado nas estações e no ponto de acesso é o ESP 8266 ESP 12F na versão Nodemcu, que conta com *wi-fi* integrado e conexão USB e pode ser visto na Figura 7.8. A programação em *software* pode ser feita através das linguagens LUA ou C++, podendo ser programado através da IDE do Arduino, utilizando a comunicação via cabo micro-usb. O microcontrolador possui uma porta analógica (A0) com resolução de 10 bits, que ao ser utilizada com a função de programação *analogWrite*, retorna um valor de 0 a 1.023 conforme o nível de tensão nesta entrada, que pode variar entre 0V e 3,3V. Para este projeto são necessárias 8 portas analógicas, sendo 5 para os sensores de código e 3 para sensores de linha. Visto esta necessidade, optou-se em utilizar um multiplexador de sinal, cujo modelo é CD74HC4067 e possui 16 portas, que podem servir como entrada ou saída sendo analógica ou digital, as portas utilizadas são C0, C1, C2, C3, C4, C13, C14 e C15, conforme pode ser observado na Figura 7.8.

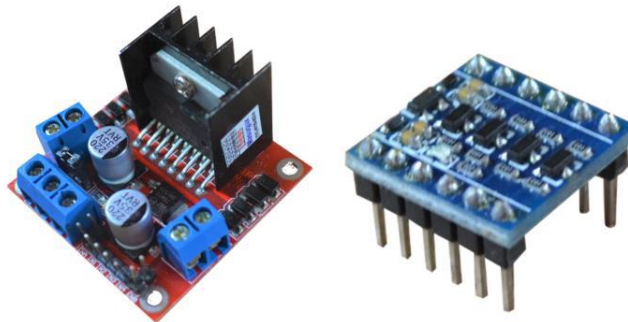
Figura 7.8 - Microcontrolador ESP 12F e Multiplexador CDF74HC4067



Fonte: Autor (2019).

Para acionamento dos motores, utiliza-se a ponte H modelo L298N, que permite acionar 2 motores ao mesmo tempo e em ambas as direções. Esse acionamento é realizado por PWM e controla o nível de tensão na saída para os motores. A ponte H necessita de um sinal de 5V para acionar os motores. Vista a necessidade, utiliza-se um conversor nível lógico de 4 canais bidirecional, que é conectado às 4 portas digitais de 3,3V do microcontrolador. Já os pinos convertidos para 5V são conectados no drive nos pinos IN1, IN2, IN3 e IN4. Tanto a ponte H quanto o conversor de nível lógico, podem ser vistos na Figura 7.9.

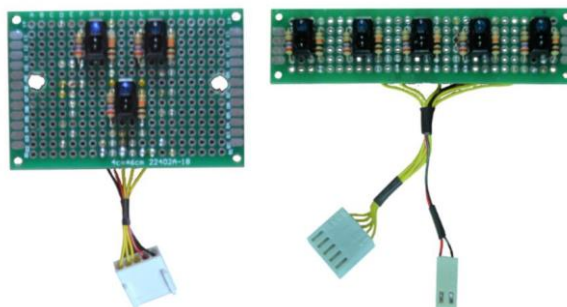
Figura 7.9 - Ponte H L298N e conversor de nível lógico



Fonte: Autor (2019).

Para sensoriamento tanto da fita guia como dos códigos de intersecção, são utilizados sensores infravermelhos modelo TCRT5000, que têm um LED emissor de luz infravermelha e um fototransistor como receptor. Os sensores estão montados em placas ilhadas de prototipagem universal, confeccionada em fibra de vidro, sendo que o tamanho das placas dos sensores de trajetória é de 4cm x 6cm e dos sensores de código de intersecção é de 2cm x 8cm. Na Figura 7.10 podem ser vistas as placas do sensor de trajetória e do sensor de código.

Figura 7.10 - Sensores de trajetória e de código



Fonte: Autor (2019).

3 RESULTADOS E ANÁLISE

Este capítulo apresenta os resultados obtidos no projeto, sendo que primeiramente é apresentada a montagem dos transportadores, relatando mais detalhes sobre a implementação dos protótipos. Depois, é comentado sobre o sistema de controle de trajetória, que tem o objetivo de manter o veículo sobre a fita guia. Após, é mostrado o sistema de localização dos transportadores. E, por fim, é apresentado o funcionamento do sistema.

Para a montagem final, no AGV 1, além do chassi utilizado onde foram acoplados os motores, sensores, eletrônica embarcada, fora utilizado outras 2 chapas de material acrílico, para simular uma plataforma elevadora que fica fixada ao transportador, por meio de 4 parafusos. No AGV 2 foram utilizadas as mesmas peças, porém ficou sem a plataforma. A Figura 7.11 ilustra a montagem final do transportador.

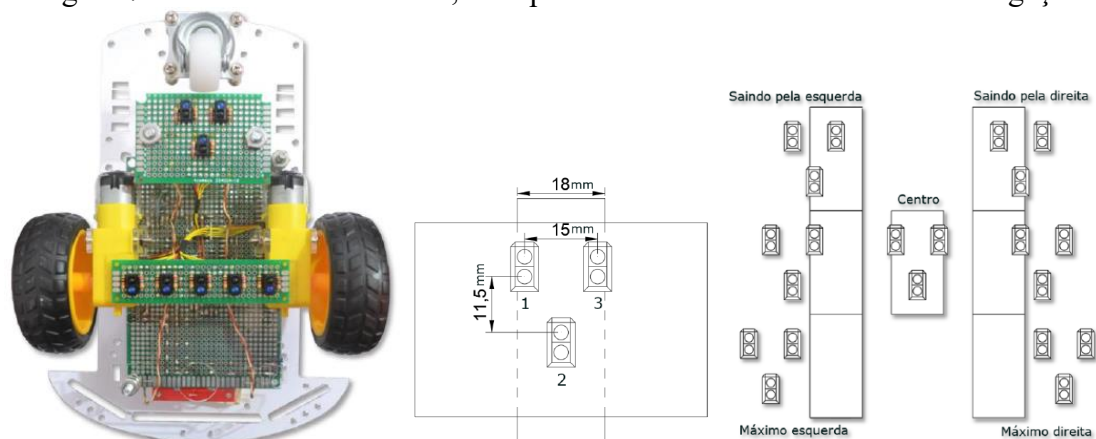
Figura 7.11 - Montagem final do transportador



Fonte: Autor (2019).

Os sensores ficam alocados na parte inferior do veículo, de modo que tenham uma visão sem obstrução do piso. Os sensores de linha estão fixados atrás do rodízio giratório, suspenso por dois parafusos, que possibilitam regular a altura, caso for necessário. Os sensores de código estão fixados nas carcaças dos motores, paralelos ao eixo das rodas. Os motores têm lugares pré-definidos no chassi que foram mantidos na montagem, a Figura 7.12 mostra a vista inferior do veículo, que é replicada no transportador 2.

Figura 7.12 - AGV vista inferior, com posicionamento dos sensores de navegação



Fonte: Autor (2019).

O veículo se mantém na trajetória através de uma malha de controle fechada, utilizando um controlador proporcional. Através do acionamento diferencial dos motores, o veículo segue a fita guia, enquanto estiver indo em direção a alguma intersecção. A posição dos sensores de trajetória quando o veículo está centralizado, tem valor zero, que é exatamente no centro da linha. A linha pontilhada é uma representação da fita guia e os sensores estão identificados pelos números 1, 2 e 3. Os valores de posição variam conforme os sensores que estiverem lendo a fita preta. É possível obter 7 posições diferentes dos sensores sobre a fita. As possibilidades de posição dos sensores de trajetória estão ilustradas na figura.

Através dos valores de posição, o controle proporcional age no acionamento dos motores, com o intuito de corrigir, mantendo sempre a referência em zero, que é o centro da linha. Os valores de posição referentes aos sensores que estão sobre a fita-guia se encontram na Tabela 7.1.

Tabela 7.1 - Valores das posições dos sensores

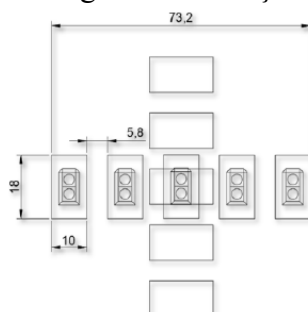
Valor da posição	Sensores Sobre a linha	Último sensor lido
30	Nenhum	3
20	3	0
10	2 e 3	0
0	1, 2 e 3	0
-10	1 e 2	0
-20	1	0
-30	Nenhum	1

Fonte: Autor (2019).

Se o transportador sair completamente da trajetória, o algoritmo salva qual foi o último sensor que estava sobre a fita guia, fazendo-o voltar sobre a guia. Quando o transportador estiver nas partes do código em que a fita guia não é uma linha contínua, o algoritmo salva que o último sensor que saiu da linha foi o de número 2, fazendo com que, deste modo, o transportador continue navegando em linha reta, pois entende que o veículo está trafegando no centro da fita.

A leitura dos códigos de linha acontece em cada intersecção, através dos sensores de código. O valor lido em cada sensor varia de 0 a 1.023, sendo que foram realizados testes para captar os valores e estipulou-se um valor de calibração, para que quando a variável estiver maior que 380, entende-se que esta está detectando algum *bit* ativo na leitura. O valor de calibração estipulado levou em consideração os testes realizados para que sirva de filtro e não detecte algum código no momento errado. Uma representação da leitura de código e as principais medidas dos códigos de intersecção estão apresentadas na Figura 7.13.

Figura 7.13 - Medidas do código de intersecção (medidas em milímetros)



Fonte: Autor (2019).

Quando o transportador detecta um código, ele o envia para o ponto de acesso, que após recebê-lo calcula a rota através dos pontos de origem e destino propostos pelo

usuário e devolve um código de ação que é interpretado novamente pelo AGV. Uma vez que foram definidos 5 *bits*, tem-se a possibilidade de usar os códigos que geram números decimais de 0 a 31. Foram descartados os códigos que contêm menos de 2 *bits* ativos e códigos que se geram o mesmo número lidos em ambas as direções, pelo fato de que se o código possuir menos de 2 *bits* ativos, tem-se muito espaço vazio na intersecção, o que pode atrapalhar o controle do veículo E os que geram o mesmo número foram removidos para evitar duplicidade. Na Tabela 7.2 estão predispostas as dezessete combinações que foram utilizadas para determinar as posições dos AGVs.

Tabela 7.2 - Relação dos estados dos sensores para cada código de intersecção

Sensor Código 1	Sensor Código 2	Sensor Código 3	Sensor Código 4	Sensor Código 5	Código Intersecção	Intersecção	Decimal
0	0	1	0	1	1	1	5
0	0	1	1	0	2		6
1	0	1	0	0	3		20
0	1	1	0	0	4		12
0	0	1	1	1	5	2	7
0	1	1	0	1	6		13
1	1	1	0	0	7		28
1	0	1	1	0	8		22
0	1	0	1	1	9	3	11
1	0	0	1	1	10		19
1	1	0	1	0	11		26
1	1	0	0	1	12		25
0	1	1	1	1	13	4	15
1	0	1	1	1	14		23
1	1	1	1	0	15		30
1	1	1	0	1	16		29
1	1	1	1	1	25	Máquina	31

Fonte: Autor (2019).

O código 25 ficou reservado para o transportador detectar o ponto de máquina origem, para levantar a plataforma, ou de máquina destino, para abaixar a plataforma. Os demais códigos fazem parte das 4 intersecções, que além de informar a localização também informam a direção em que o veículo está trafegando.

Além dos 16 códigos de posição gerados na pista, também são gerados 7 códigos de ação, que definem os movimentos dos transportadores. A relação de códigos com a ação gerada pode ser observada na Tabela 7.3.

Tabela 7.3 - Relação de código com ação gerada

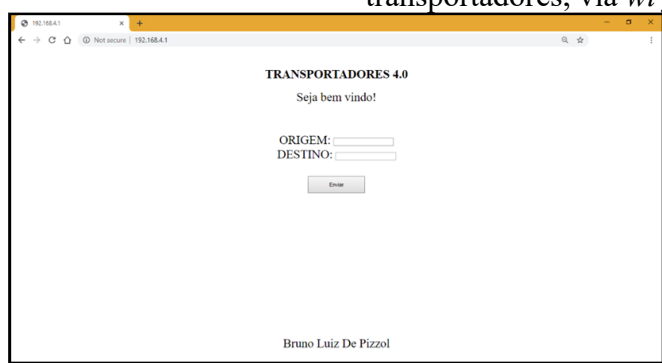
Código	Ação
1	Andar
2	Parar
3	Seguir reto
4	Rotacionar 90° para a direita
5	Rotacionar 90° para a esquerda
6	Levantar plataforma e rotacionar 180° para a direita
7	Abaixar plataforma e rotacionar 180° para a esquerda

Fonte: Autor (2019).

O ponto de acesso é responsável pelo gerenciamento das rotas dos transportadores. A eletrônica do ponto de acesso fica dentro de uma caixa plástica, que serve para proteção do circuito. Nesta montagem, tem-se uma chave para ligar e desligar o circuito e dois LEDs RGBs para informar alguns estados de comunicação das estações 1 e 2, por exemplo. Quando o ponto de acesso recebe um pacote ele emite um sinal luminoso na cor azul e quando realiza o envio de um pacote emite um sinal luminoso na cor verde.

O código de ação é calculado pelo ponto de acesso, quando ele recebe o código de qualquer uma das estações, e este leva em consideração a disponibilidade do transportador, a posição e o ponto de origem e destino. Com a ação calculada, o ponto de acesso envia um pacote para a estação recorrente, que fica em estado de repouso esperando o código. Após receber, instantaneamente a estação entra em funcionamento, perfazendo a ação recebida. A ordem de origem e destino se dá pelo usuário, que ao conectar o *smartphone* ou *notebook* na rede TRANSPORTADORES 4.0 transmitida pelo ponto de acesso, acessará o endereço <http://192.168.4.1>, via *browser* onde encontra-se uma página de interação e algumas informações, vista na Figura 7.14.

Figura 7.14 - Tela para interação do homem com a máquina e ponto de acesso aos transportadores, via *wi-fi*

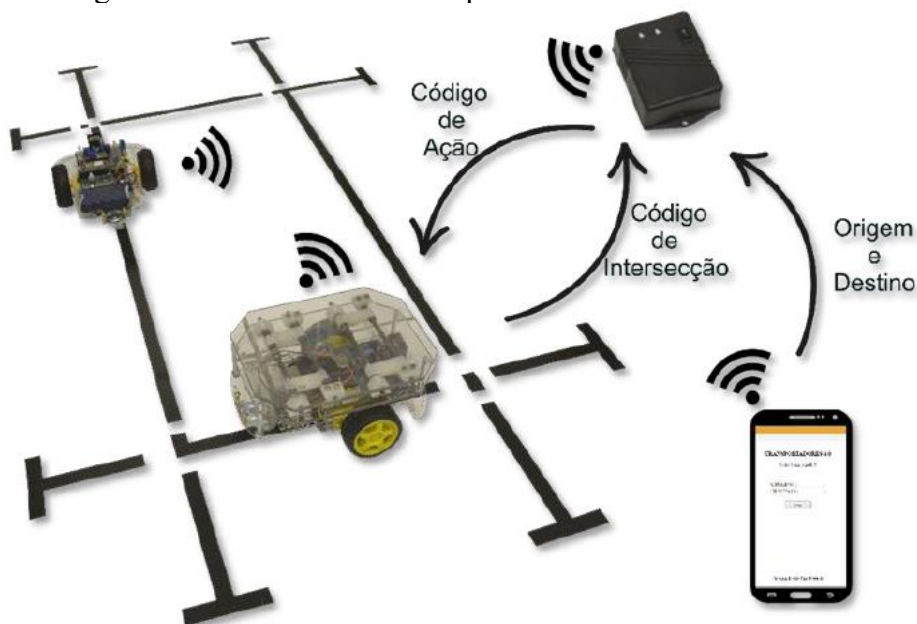


Fonte: Autor (2019).

A página de interface é programada na linguagem HTML e fica hospedada dentro do ponto de acesso, que funciona como um *host*, no qual o usuário define os pontos de origem e destino, segundo os campos dispostos na página e clica no botão enviar. A partir deste momento o ponto de acesso recebe uma solicitação de carregamento, na qual se verifica a disponibilidade dos transportadores. Se ambos estiverem disponíveis, a próxima verificação é qual está mais perto do ponto de coleta. Decidido qual veículo irá fazer o transporte, o próximo passo é escolher a rota, com base na posição do outro transportador.

Existem somente 2 rotas que os transportadores podem fazer para chegar ao destino, sendo a rota A o caminho mais curto, que é priorizado na escolha. Caso o caminho não esteja livre, a rota B escolhida, tendo em vista que esta é mais longa e sempre será utilizada como segunda opção. A Figura 7.15 retrata a simulação de interação dos transportadores com o ponto de acesso e a interface de usuário utilizada.

Figura 7.15 - Sistema dos transportadores em funcionamento



Fonte: Autor (2019).

Inicialmente os transportadores conectam-se ao ponto de acesso e permanecem em seus pontos de descanso. Ao receber um código de ação, o transportador entra em funcionamento até chegar em alguma intersecção, quando detecta um código, o veículo para e envia o código para o ponto de acesso, através de um pacote UDP para o endereço de IP e uma porta específica para cada transportador.

Os resultados esperados para um sistema de manufatura avançada, dentro do conceito de Indústria 4.0, com funcionalidades para produção diversificada, customizada

e com lotes pequenos de produção, são funcionalidades de transporte que atendam a manufatura na sua flexibilidade desejada. Para evidência destas funcionalidades, fora ensaiado um processo de manufatura em um cenário, em que os transportadores são implementados por esteiras transportadoras e um cenário com AGVs interativos, que se propõe a responder as mudanças do fluxo de produção do objeto, implementado por agentes. A Tabela 7.4 apresenta o comportamento dos AGV interativos, com rotas customizadas, nos preceitos da Indústria 4.0, frente aos sistemas de transporte por esteiras, que utilizam multiagentes, a luz do trabalho de Vrba e Marik (2010), realizados em planta de manufatura avançada experimental de laboratório.

Tabela 7.4 - Resultados experimentais na comparação entre transportadores por esteiras e AGVs interativos

Métrica	Transportadores por esteiras	Esteiras multiagentes	AGV interativos, com rotas customizadas
Competências requeridas para instalação.	Requer competências em mecânica, pois a alteração da estrutura da planta é baixa.	Requer competências em mecânica, elétrica, automação e computação, pois além da instalação de rotas, há necessidade de implementar os agentes.	Requer competências em mecânica, automação e computação, pois requer a implementação de rotas.
Integração com processo industrial existente.	Fácil integração, bastando conexão com o controlador lógico programável local.	Requer que tanto o transportador quanto o controlador lógico programável tenham funcionalidades de agentes.	Fácil integração, bastando conexão com o ponto de acesso local.
Mudança no fluxo de processo do produto durante a produção.	Não é possível realizar esta demanda sem a parada do sistema.	Possível, para qualquer alteração que o produto solicitar, desde que a esteira esteja livre.	Possível, para qualquer alteração que o produto solicitar.
Flexibilidade para atender a mudanças de leiaute da planta de manufatura.	Não há flexibilidade, uma alteração de leiaute significa alterar as esteiras.	Não há flexibilidade, uma alteração de leiaute significa alterar as esteiras.	Possível, para qualquer alteração entre máquinas, com inserção, exclusão ou mudança de posição destas.
Sistemas de localização e mapeamento	Não utilizado sistema de localização e mapeamento	Utiliza sensores em cada uma das posições	Utiliza códigos binários que informam a posição e a direção do AGV
Interação entre transportadores	Não há interação entre esteiras, fazendo com que só se possa transportar um produto por vez.	Utilizam-se condutores físicos para a comunicação entre os agentes, o que permite que se possa transportar um produto por vez em cada segmento de esteira.	Utiliza sistema de comunicação <i>wi-fi</i> , o que permite uma quantidade maior de transportadores operando simultaneamente.

Fonte: Autor (2019).

Analisando-se os resultados obtidos na comparação do tipo de transportador utilizado para flexibilização do processo de manufatura de fluxos produtivos dinâmicos,

tem-se que as competências requeridas para instalação das esteiras são menos complexas que as da implantação de AGVs, sendo que as esteiras transportadoras necessitam apenas de competências mecânicas, ao passo que as esteiras multiagentes necessitam de competências mecânicas, elétricas, de automação e de computação, devido ao fato de que estas requerem a implantação dos agentes. Aliado a diferença de competências necessárias a instalação, tem-se também a necessidade de implantação das rotas para os transportadores automaticamente guiados, que visa a interação entre eles, para que seja possível desviar peças de trabalho em uma rede complexa e redundante de rotas de transporte, para entregá-las do local A ao local B (Vrba; Marik, 2010).

Com relação a integração do transportador com o processo industrial existente, verificou-se que para os transportadores que envolvem esteiras há fácil integração, pois se refere a uma integração simples, que necessita apenas que a esteira se conecte com o controlador lógico programável local. Já para o AGV, tem-se também uma interação fácil, pois requer que o veículo automaticamente guiado se conecte ao ponto de acesso, utilizando conexão móvel. Fato que distingue as esteiras dos AGVs, permitindo uma maior liberdade de locomoção.

Quando a comparação é realizada no âmbito da mudança no fluxo de processo do produto durante a produção, tem-se que os transportadores por esteiras são mais estáticos, uma vez que não se pode fazer alterações no fluxo de processos durante a produção. Já para as esteiras que utilizam sistema multiagentes, é possível que se façam tais mudanças no fluxo de processos durante a produção, uma vez que há diversos caminhos que podem ser percorridos, desde que estes contenham uma esteira. Nos AGVs a mudança no fluxo se mostra plausível, devido ao fato de os AGVs serem mais flexíveis, o que lhes permite “lidar com as mudanças no ambiente, como flutuações de demanda, e reavaliar decisões a fim de aproveitar oportunidades” (Branisso, 2014, p. 33).

Conforme verificado nos parágrafos anteriores, os AGVs possuem maior flexibilidade para atender a mudanças de leiaute da planta de manufatura, pois permite qualquer alteração entre máquinas, com inserção, exclusão ou mudança de posição destas. Já as esteiras são mais restritas, impossibilitando a flexibilidade, pois uma alteração de leiaute significa alterar as esteiras. A flexibilidade é um dos preceitos da Indústria 4.0, uma vez que ela permite uma mudança no processo de manufatura, design e demais operações do processo produtivo, agregando valor à cadeia organizacional e no ciclo de vida do produto (Peixoto; Pereira, 2018).

Quanto aos sistemas de localização e mapeamento, tem-se que as esteiras tradicionais não utilizam nenhuma ferramenta para informação de sua localização e de mapeamento, visto que não possuem tecnologias sofisticadas e nem interação que lhes permite a tomada de decisão. As esteiras com tecnologia multiagentes efetuam sua localização e mapeamento através de sensores, dispostos em pontos específicos da esteira. Sistema que vai ao encontro do sistema de localização utilizado pelos AGVs, que utiliza códigos binários nas intersecções, para que se tenha ciência da posição em que os transportadores se encontram, permitindo tomar a decisão de qual ação perfazer. Tal fato demonstra que tanto a esteira multiagentes quanto o AGV possuem navegação autônoma, uma vez que ambos os sistemas trabalham com a saída de uma configuração inicial, que permite alcançar uma configuração final, percorrendo o caminho que foi planejado.

Por fim, tem-se a questão da interação dos transportadores, na qual em esteiras tradicionais não se faz presente, visto que nessas esteiras se transportam em somente um sentido. Já nas esteiras multiagentes, tem-se a presença de sensores, que permitem que sejam transportados produtos em mais de um sentido, sendo que cada produto deve estar em um segmento específico de cada esteira. Nos AGVs essa interação se deu através de conexão sem fio, o que facilita a comunicação entre os transportadores, permitindo maior mobilidade no chão de fábrica.

O que se nota, a título de análise, é que em aplicações de baixa complexidade, as esteiras transportadoras se apresentam como boas soluções, devido aos requisitos de competências específicas para sua instalação serem poucas e de fácil integração. Porém, ao se tratar de manufaturas com necessidade de alterações no fluxo de processo de fabricação do produto ou alterações de leiaute das máquinas, então os transportadores por AGVs interativos se prestam melhor, pois atendem aos requisitos, sem a necessidade de intervenção no processo produtivo.

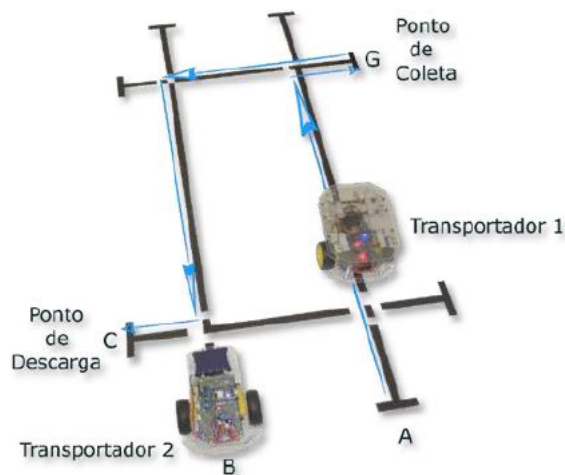
Além do descrito, tem-se também que a capacidade de incorporar autonomia, as operações de alta velocidade, a confiabilidade e a precisão, transformam a robótica móvel em uma alternativa atraente, quando comparada aos processos manuais tradicionais, com situações altamente repetitivas ou de difícil manuseio pelos seres humanos (Vivaldini, 2010). Por isso, realizadas as comparações necessárias, tem-se agora a análise da interação entre os transportadores, por meio do ponto de acesso.

Visando responder a problemática proposta neste trabalho, foram realizados dois testes para validação da implementação dos AGVs no processo de manufatura de fluxos produtivos. Nestes testes foi proposto um ponto de origem e um ponto de destino, no qual

o objetivo era observar o comportamento dos transportadores, quando estes eram submetidos a uma mesma trajetória.

O primeiro teste teve como intuito a transferência de um produto do ponto G (origem) ao ponto C (destino), sendo que ambos os AGVs se encontravam em seus pontos de descanso (ponto A para o AGV 1 e ponto B para o AGV 2), conforme pode ser visto através da Figura 7.16.

Figura 7.16 - Teste de transporte 1

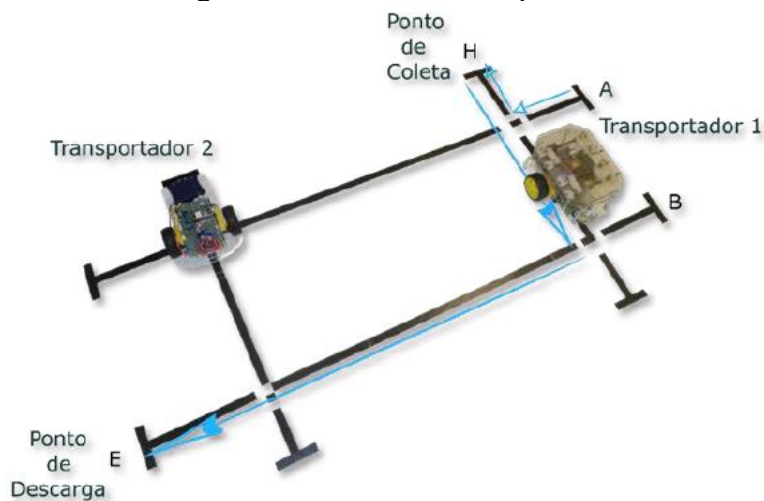


Fonte: Autor (2019).

Foi verificado que o veículo que efetuou a trajetória foi o AGV 1, tendo em vista que este estava mais perto da origem. Através da figura se pode verificar também como foi a trajetória desse AGV. Nota-se que o AGV se mostrou estável durante a trajetória como um todo. Contudo, se verificou que há uma pequena oscilação na direção do AGV nas intersecções, uma vez que nestas se encontram os códigos que definem o sentido a ser seguido, sendo este composto por quadrados brancos e quadrados pretos, o que faz com que o AGV tenha uma dificuldade para leitura do código, por este não ser uma linha contínua. O problema identificado foi resolvido no algoritmo, no qual se propôs que quando os sensores saem de cima da linha, o algoritmo salva a última posição, fazendo com que o AGV retorne à posição anterior.

O segundo teste visou o traslado de um produto cuja origem era o ponto H e o destino o ponto E, sendo que o AGV 1 estava no ponto de descanso (ponto A), enquanto o AGV 2 estava na intersecção de número 4, conforme pode ser evidenciado na Figura 7.17.

Figura 7.17 - Teste de transporte 2



Fonte: Autor (2019).

Foi possível verificar que o veículo que se encontrava mais perto da origem era o AGV 1, e foi este que efetuou a trajetória definida. Através da figura pode-se verificar o percurso realizado pelo AGV para entrega dos produtos. Nota-se que o AGV 1 optou pela rota mais comprida, uma vez que o AGV 2 estava localizado na intersecção 4, que era caminho da rota mais curta para que se chegasse ao destino. Novamente identificamos a oscilação na direção do AGV nas intersecções, devido ao fato de os códigos serem compostos por quadrados brancos e pretos, dificuldade evidenciada pelo fato de estes não estarem em uma linha contínua. Tal fato também foi resolvido através do algoritmo, da mesma forma que no teste 1.

Após efetuados os testes, foi verificada a validação da hipótese, uma vez que foi possível utilizar transportadores autônomos (AGVs), que interagissem entre si para atender as necessidades de auto-organização de um sistema de manufatura.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A hipótese de uso de AGVs com grau de interação com o produto, máquinas e entre si, se confirmou, pois faz com que a manufatura de produtos diversificados e com alto grau de customização possa ser implementada, uma vez que o traslado entre as máquinas são solicitados a cada passo do processo de manufatura do produto, podendo este definir o novo traslado segundo sua alocação de máquina que realizou. Além de

agregar a previsão de colisão entre os AGVs, que ocorre através da interação entre os si, definindo a disponibilidade de cada trecho da rota traçada para cumprir o traslado.

Em um ambiente de manufatura de indústria 4.0, não basta somente o produto e as máquinas interagirem para produção diversificada, customizada e em baixos lotes de produção, sem que haja intervenções no meio produtivo. É necessário também que os sistemas de transporte do produto até as máquinas tenham um grau de interação, que permitam alteração de rotas e que estas sejam definidas pelo produto a cada etapa da manufatura, também sem a necessidade de intervenção no processo. Agregado a possibilidade de mais de um transportador ocupar o mesmo espaço de trabalho, com soluções ao risco de colisão.

São os transportadores 4.0 que se somam aos demais processos de manufatura, ofertando funcionalidades que auxiliam na implementação de indústria 4.0, através de programação, microprocessadores e sistema de controle.

Para trabalhos futuros, sugere-se implementar um sistema multiagentes para controle da interação entre os transportadores.

Outra sugestão é aumentar a quantidade de intersecções, deste modo possibilitará um número maior de máquinas na planta industrial.

Também, um ponto a ser destacado, é melhorar a interface com o usuário, corroborando com mais informações visuais e um sistema supervisor, de forma a monitorar o trajeto, bem como a carga das baterias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AZEVEDO, M. T. **Transformação Digital na Indústria: Indústria 4.0 e a Rede de Água Inteligente no Brasil.** 2017. 177f. Tese (Doutorado) - Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2017.

BARBERA, H. M.; PEREZ, D. H. Development of a Flexible AGV for Flexible Manufacturing Systems. **Industrial Robot: An International Journal**, [s.l.], v. 37, n. 5, p.459-468, 24 ago. 2010.

BARBERA, H. M.; QUINONERO J.P.C.; IZQUIERDO M.A.Z.; SKARMETA A.G. i-Fork: a Flexible AGV System Using Topological and Grid Maps. In: 2003 IEEE International Conference of Robotics And Automation, 20., 2003, Taipei. **Proceedings...** New York: IEEE, v.2, p.2147-2152.

BRANISSO, L. B. **Sistema Multiagente para Controle de Veículos Autônomos**. 2014. 127f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, Universidade Federal de São Carlos, 2014.

CANO, C. E. V. **Técnica de navegação de um robô móvel baseado em um sistema de visão para integrá-lo a uma célula flexível de manufatura**. 2006. 154f. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, 2006.

FAZLOLLAHTABAR, H; MAHDAVI-AMIRI, N. A Bi-criteria AGV-based Flexible Jobshop Manufacturing Network having Uncertain Parameters. In: Second International Conference On Engineering Systems Management And Its Applications, 2., 2010, Sharjah. **Proceedings...** New York: IEEE, p. 1-6.

FAZLOLLAHTABAR, H; ZANDIEH, M. Cost Optimization in an AGV-based Automated Manufacturing System Associated with Product Inspection and Machine Reliability. In: Second International Conference On Engineering Systems Management And Its Applications, 2., 2010, Sharjah. **Proceedings...** New York: IEEE, p. 1-6.

GALDAMES, J. P. M. **Sistema de Localização para AGVs em Ambientes Semelhantes a Armazéns Inteligentes**. 2011. 100f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e Área de Concentração em Dinâmica de Máquinas e Sistemas, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2012.

HERMANN, M; PENTEK, T; OTTO, B. Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios, **Proceedings...** 9th Hawaii International Conference on System Sciences. Koloa, 2016, p. 3928-3937.

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. **Recommendations for Implementing the Strategic Initiative Industrie 4.0**. Frankfurt; Main: National Academy of Science and Engineering, 2013, p. 13-78.

MAGGIO, E. G. R. **Uma Heurística para a Programação da Produção de Sistemas Flexíveis de Manufatura Usando Modelagem em Redes de Petri**. 2005. 107f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, Universidade Federal de São Carlos, 2005.

MENDES, J. M.; LEITÃO, P. J.; COLOMBO A. W.; RESTIVO, F. A. Service-Oriented Control Architecture for Reconfigurable Production Systems. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL INFORMATICS - INDIN2008, 2008, Daejeon. **Proceedings...** New York: IEEE, 2008.

PEIXOTO, J. A; PEREIRA, L. M. Indústria 4.0 na Auto-organização dos Sistemas Produtivos. **Revista Eletrônica Científica da UERGS**, Porto Alegre, v. 4, n. 3, p.525-538, 23 out. 2018.

PIZZOL, Bruno Luiz de. **Sistema de transportadores autônomos interativos no contexto da indústria 4.0**. 2019. 59 f. Monografia (Graduação) - Curso de Tecnólogo em Automação Industrial, Universidade Estadual do Rio Grande do Sul - Uergs, Porto

Alegre, 2019. Disponível em:

<https://repositorio.uergs.edu.br/xmlui/handle/123456789/2357>. Acesso em: 30 jun. 2023.

REZAIE, K.; OSTADI, B. A mathematical model for optimal and phased implementation of flexible manufacturing systems. **Applied Mathematics and Computation**, v.184, n.2, p.729-736, 2007.

ROCHA, L. A. F. da. **Logística Flexível Baseada em AGVs**. 2010. 94f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2010.

SANTOS, V. C. **Uma Abordagem Híbrida para Planejamento Exploratório de Trajetórias e Controle de Navegação de Robôs Móveis Autônomos**. 2017. 111f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciências de Computação e Matemática Computacional, Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, 2017.

SCHWAB, K. The Fourth Industrial Revolution. **VINT research report**, p. 1-39, 2016.

SILVA, R. M. da. **Controle de Sistemas Reconfiguráveis de Manufatura**. 2016. 207p. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2016.

SOUZA, J.; ROYER, R. Implantação de um Sistema AGV – Veículo Guiado Automaticamente um Estudo de Caso. In: XXXIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 33., 2013, Salvador. **Anais...** Salvador: ABEP, 2013, p. 1-16.

VILAS BOAS, E. R. **Mapeamento e Localização Simultânea de Ambientes Dinâmicos Aplicados na Navegação de Veículo Autônomo Inteligente**. 2011. 80f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Itajubá, 2011.

VIVALDINI, K.C.T. **Roteamento Automático de Empilhadeiras Robóticas em Armazém Inteligente**. 2010. 98f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2010.

VRBA, P.; MARIK, V. Capabilities of Dynamic Reconfiguration of Multiagent-Based Industrial Control Systems. **IEEE Transactions on Systems, Man, And Cybernetics—Part A: Systems and Humans**. [S. l.], v. 40, n. 2, p. 213-223, 2010.

8

SISTEMA AUTÔNOMO DE COLETA DE INFORMAÇÕES DE PRODUÇÃO

Felipe Haack

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo sintetiza o trabalho de conclusão de curso de Haack (2020), ao investigar os sistemas de coleta de dados em manufatura industrial.

Todos os dias, para a correta tomada de decisões dentro de uma empresa, se faz necessário o aumento no número de informações em relação à produção e controle dos processos. Entre esses dados, alguns dos mais relevantes são: tempo de fabricação; quantidades de insumos consumidos por peças; quantidade de operadores por célula e/ou linha e demais gastos, que acabam por incorporar o valor final do produto.

De acordo com Hansen (2002) uma boa coleta de dados é a chave requerida para o completo sucesso da estratégia de OEE (*Overall Equipment Effectiveness* - eficiência global de equipamentos). Pois o sucesso de várias fábricas é afetado enormemente em razão de como a acuracidade das informações são coletadas e analisadas eficientemente (Chiaradia, 2004).

Atualmente, várias indústrias realizam a coleta de dados de forma manual, por funcionários de diferentes setores, podendo ocasionar erros de coleta, omissão de dados, entre outras falhas. Essas falhas de coleta podem gerar falsos índices, equivocando decisões pela equipe de gerenciamento, podendo resultar em perda de tempo, qualidade, além de diminuir significativamente os ganhos de uma empresa.

Em muitos setores, existe uma resistência contra a coleta de dados por parte dos operadores e capatazes. Para ter sucesso na coleta de dados, é necessário encontrar um método de consumo de menos tempo que também seja preciso (Ljungberg, 1998, p. 495-507).

Devido o avanço da tecnologia e do grande número de empresas focadas em automação industrial, existem diversos tipos de sistemas de monitoramento de produção disponíveis no mercado brasileiro.

No entanto, em sua grande maioria, esses sistemas são focados em controle de paradas em linhas de produção ou de máquinas. Em que carecem de monitoramento de falta de insumos, eficácia de operadores, paradas por manutenção ou *setup*.

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema automatizado de coleta de dados em tempo real, para máquinas industriais, apresentando dados em uma tela gerencial à pessoa que administra o sistema produtivo.

Na indústria o detalhamento de coleta de dados, de modo manual, baseia-se em máquina parada e quantidade de produtos produzidos no final de turnos. Porém, nesse método a análise fica pouco abrangente, não apresentando um resultado eficiente, já que se torna difícil analisar ocorrências dentro de um turno, que pode variar de 4 a 8 horas. Como exemplo, há o caso de operadores aumentarem velocidade de máquinas para compensar pequenas quebras de produção, por motivos diversos.

De acordo com Ljungberg (1998), quando os operadores preenchem o formulário, o sistema nem sempre está funcionando com precisão. Isto porque o formulário geralmente é projetado por alguém que não entende a complexidade das perdas de produção. Além disto, o procedimento de preenchimento na maioria dos casos não é fácil o suficiente para o operador. Em muitos casos, os dados não são compilados e analisados.

Quando o operador fica ciente disso, a motivação do preenchimento do formulário diminui consideravelmente.

Diante disto, todos os índices que são gerados com a coleta de dados manual podem deixar dúvidas sobre sua veracidade, diminuindo a segurança e convicção na tomada de decisões.

Um tópico é o problema da coleta de dados, que não foi tratado suficientemente na literatura. A maioria das empresas possui algum sistema para coletar dados sobre distúrbios de máquinas. Geralmente, os sistemas de manutenção administrativa registram o tempo de reparo, que não é o mesmo que o tempo de parada. Além disso, existem livros de registro em que os operadores registram grandes paradas. Nenhum desses dois sistemas de coleta de dados fornece, na maioria dos casos, uma imagem adequada e abrangente das perdas e seus motivos (LJUNGBERG, 1998, p. 495-507).

Um sistema autônomo capaz de coletar dados de produção em um sistema de manufatura, pode trazer as informações mais fidedignas de como uma fábrica está operando, seja no monitoramento de sua capacidade produtiva, na falha de equipamentos

ou no rastreamento de lotes de produção. Conhecer o que ocorre no campo fabril no momento que os fatos acontecem, sem a interferência direta do operador, se apresenta como uma hipótese para solucionar o problema, apontado por este trabalho.

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver um sistema automatizado, capaz de coletar dados de produção, tais como: número de peças produzidas; tempo e motivo de máquina parada; banco de dados para armazenagem de dados coletados; gerador de gráfico e; aviso de máquina parada para as equipes de apoio e/ou gerência.

Posteriormente, todos os dados são apresentados em uma tela gerencial à pessoa que administra o sistema produtivo.

Para atingir esta meta, objetivos específicos são propostos, de forma a reger as atividades, sendo eles:

- a) selecionar os meios de coleta e apresentação de dados de produção, que mais correlacionam-se com o contexto do problema proposto;
- b) construir um protótipo funcional de sistema de aquisição de dados de máquinas, que deverá captar os dados das variáveis da máquina e enviar para o sistema supervisorio;
- c) editar um sistema supervisorio capaz de comunicar-se com o protótipo, a fim de receber os dados relativos à produção, apresentando tais dados em uma tela gerencial;
- d) validar o protótipo funcional em uma situação fabril simulada.

Uma ferramenta importante para monitoramento de condições de produção, a partir dos dados de controladores das máquinas, são os sistemas SCADA, que se propõe a reunir dados de produção e manufatura na forma de sinais gráficos, recompondo um croqui do sistema fabril a que supervisiona.

O *software* Elipse é uma consagrada ferramenta SCADA para monitoramento e controle de processos, oferecendo escalabilidade e constante evolução para diversos tipos de aplicações, desde simples interfaces HMI até complexos centros de operação, em tempo real. Por ser um *software* totalmente orientado para a operação em rede e para aplicações distribuídas, oferece em novo e avançado modelo de objetos: uma poderosa interface gráfica. A Figura 8.1 mostra um exemplo de tela de um programa editado no aplicativo Elipse.

Figura 8.1 – Tela de um aplicativo de supervisão editado pelo *software* Elipse



Fonte: Elipse (2020).

Este *software* também permite a comunicação com centenas de dispositivos de controle e aquisição de dados. As informações podem ser manipuladas de diversas formas, incluindo o desenvolvimento de poderosas interfaces gráficas, tanto no PC em rede local quanto via *Internet*. Além do gerenciamento de alarmes, armazenamento em bancos de dados, troca de informações entre outros *softwares* e componentes, e criação de relatórios.

Os primeiros sistemas SCADA, basicamente telemétricos, permitiam informar periodicamente o estado corrente do processo industrial, monitorando sinais representativos de medidas e estados de dispositivos, através de um painel de lâmpadas e indicadores, sem que houvesse qualquer interface aplicacional com o operador.

Atualmente, os sistemas de automação industrial utilizam tecnologias de computação e comunicação para automatizar a monitoração e controle dos processos industriais, efetuando coleta de dados em ambientes complexos, eventualmente dispersos geograficamente, e a respectiva apresentação de modo amigável para o operador, com recursos gráficos elaborados e conteúdo multimídia.

Para permitir isso, os sistemas SCADA identificam os *tags*, que são todas as variáveis numéricas ou alfanuméricas envolvidas na aplicação, podendo executar funções computacionais (operações matemáticas, lógicas, com vetores ou *strings*, entre outros), ou representar pontos de entrada/saída de dados do processo que está sendo controlado.

Nesse caso, correspondem às variáveis do processo real (temperatura, nível, vazão, entre outros), comportando-se como a ligação entre o controlador e o sistema. É com base nos valores dos *tags* que os dados coletados são apresentados ao usuário.

Os sistemas SCADA podem também verificar condições de alarmes, identificadas quando o valor do *tag* ultrapassa uma faixa ou condição pré-estabelecida, sendo possível programar a gravação de registros em banco de dados, ativação de som, mensagem, mudança de cores, envio de mensagem por *pager*, e-mail, *mobile phones*, entre outros.

2 METODOLOGIA

Neste trabalho é estudado como a coleta de dados de produção de forma automática e autônoma, podem valorizar o funcionamento de uma empresa independente do seu porte. O intuito da pesquisa é focado em quais os dados têm maior importância no meio fabril, levando em consideração quais delas afetam o poder decisório de uma empresa. Aprimorando o tempo, quantidade e qualidade de intervenções realizadas pelo gerenciamento das empresas.

Para comprovar a eficácia do estudo, será utilizada a prototipagem, que é a arte de transferir ideias no âmbito conceitual para a realidade. O protótipo será utilizado em um ambiente controlado e testará a veracidade dos dados coletados.

Utilizando um sistema supervisor, os dados coletados serão apresentados por gráficos e tabelas. Também deverá ser utilizado um banco de dados, para armazenar os dados coletados ao decorrer dos dias, gerando um histórico de eventos na linha automatizada.

O método é um experimento de laboratório, buscando explicar o porquê das coisas, exprimindo o que convém ser feito, mas não quantificando valores e trocas simbólicas, pois os dados analisados são não métricos e se valem de diferentes abordagens.

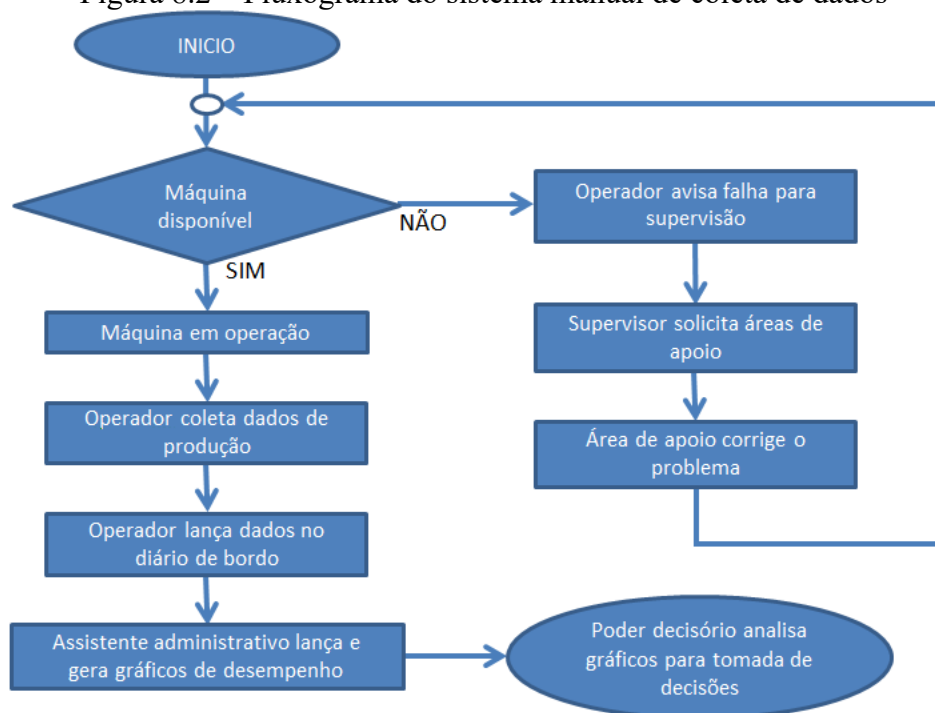
Quanto ao procedimento, será adotado o método experimental, que para Gil (2007), consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto.

O resultado deste trabalho poderá ser aplicado em qualquer linha de produção, com ciclos repetitivos. Máquinas com esse tipo de ciclos serão as ideais para o uso desse sistema, exigindo um grau mínimo de automação, já que poderão ser utilizados sinais já existentes, como sensores ou sinais de botões.

O trabalho será desenvolvido de forma que as atividades aplicadas se somem para chegar ao resultado esperado, começando com a análise do fluxo de coleta manual, seguindo pela proposta do sistema autônomo de coleta de dados, o desenvolvimento do protótipo e desenvolvimento do *software*, e *chegará a* supervisionar o funcionamento do sistema, apresentando os dados coletados.

Avaliação do fluxo de coleta de dados de modo manual é apresentada na Figura 8.2. Como fluxograma deve permitir um melhor entendimento das dificuldades enfrentadas pela utilização desse sistema.

Figura 8.2 – Fluxograma do sistema manual de coleta de dados



Fonte: Autor (2020).

Analisando a figura, percebe-se que além da dificuldade de coletar dados de produção com eficiência, existe também um problema relacionado com a parada de máquina ou linha de produção. Nesse caso, além de preencher o diário de bordo formalizando o tempo de parada, o procedimento de avisar a área de apoio pode ser ineficiente, já que aberturas de ordens de serviços e tempo de resposta podem variar, dependendo do tamanho da empresa e da disponibilidade da equipe de apoio.

Com a coleta manual a apresentação dos dados para gerência da empresa acontece com no mínimo um turno de atraso. A coleta é realizada até o fim de um dos turnos e a

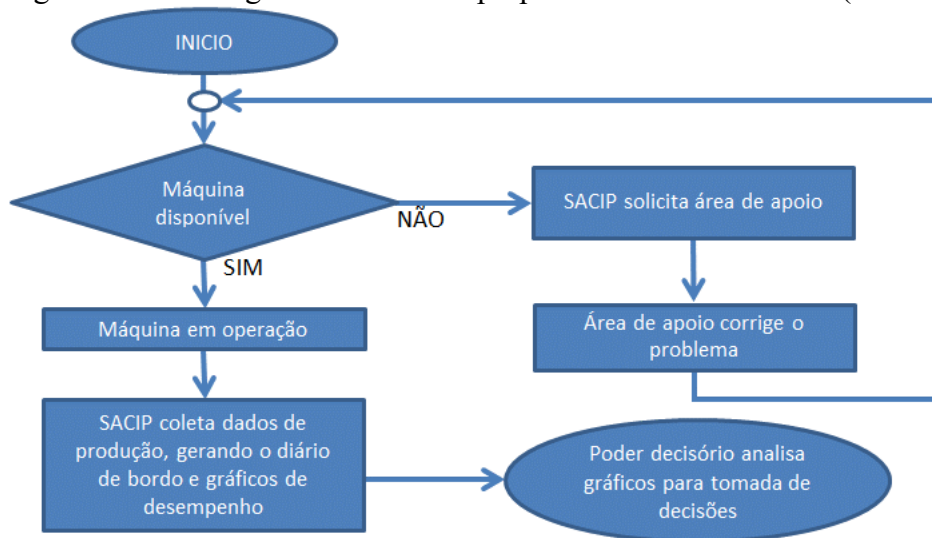
confeção dos gráficos e tabelas somente no próximo turno, considerando o melhor cenário.

Sobre o controle de disponibilidade de linhas de produção ou máquinas, o tempo pode variar, conforme a acessibilidade dos supervisores e dos setores de apoio, levando em consideração o tempo de deslocamento físico entre eles.

Analisando o fluxograma, nota-se também que são envolvidos no mínimo cinco funcionários, cada indivíduo com um tempo de resposta, que pode variar durante o turno.

Como proposta de solução, na Figura 8.3 é apresentado o fluxograma do SACIP (Sistema Autônomo de Coleta de Informações de Produção).

Figura 8.3 – Fluxograma do sistema proposto de coleta de dados (SACIP)



Fonte: Autor (2020).

O sistema proposto apresenta a coleta de dados de forma autônoma, em que o SACIP (sistema autônomo de coleta de informações de produção) coleta os dados de produção diretamente de sinais da própria máquina ou linha de produção, enviando diretamente para o sistema supervisor, que faz o processamento desses sinais, gerando a apresentação de dados instantaneamente.

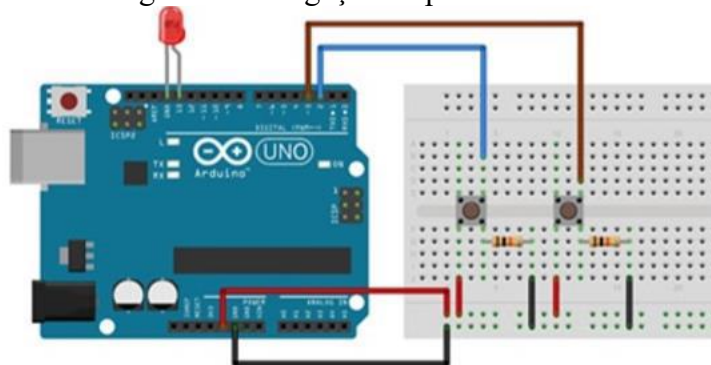
Caso ocorra algum defeito na máquina seja ela manutenção, *preset*, ferramentas ou outro motivo para parada, o próprio SACIP informará a área responsável pelo problema, avisando de forma dinâmica que a máquina monitorada está parada.

Nos dois casos o tempo de resposta da ocorrência, seja ela, contagem de peças ou problema em máquina, é instantânea e poderão ser apresentadas em mais de uma tela, podendo ter painéis nas áreas de apoio e produção.

O protótipo é desenvolvido usando como base uma placa Arduino (Arduino, 2020), nela serão instalados dois *push button*, dois resistores e um LED. Com duas entradas e uma saída digital, as funções das entradas serão, (contagem de peças, máquina indisponível ou disponível para produção) e uma saída que indicará quando a máquina está disponível.

A placa arduino terá a função de coletar os sinais da máquina a ser monitorada e enviar para o supervisor (McRoberts, 2011), funcionando como uma porta de entrada e saída. Terá como via de comunicação pelo protocolo Modbus. Na Figura 8.4 tem a imagem de como deverá ser a ligação da placa arduino.

Figura 8.4 – Ligação da placa Arduino



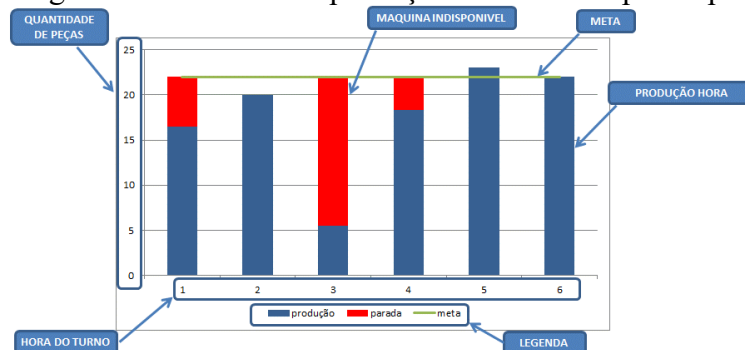
Fonte: Arduino (2020).

O sistema supervisor será desenvolvido no *software* Elipse, e deverá conter na sua tela principal um gráfico comparativo, aviso de máquina disponível ou indisponível e valor de meta por hora.

Na tela principal, uma das informações mais importantes é o gráfico de produção. Nela estarão dados como: peças hora, tempo de paradas e eixo meta desejada.

A Figura 8.5 ilustra o gráfico de produção.

Figura 8.5 – Gráfico de produção simulado no protótipo



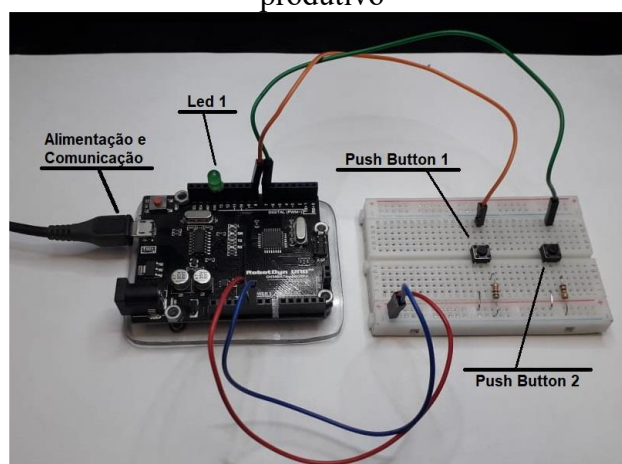
Fonte: Autor (2020).

O objetivo do gráfico é ser intuitivo, apresentando os resultados de produção de forma que facilite a interpretação numérica. O gráfico contabiliza peças fabricadas (cor azul) separadamente em cada hora do turno. Em caso de parada o gráfico altera sua aparência (cor vermelha), indicando a parada da linha de produção. Ocorrendo normalmente a produção, ele indicará as peças produzidas, sempre comparando os resultados com a meta estipulada, indicando se ela foi atingida.

3 RESULTADOS E ANÁLISE

Após montagem de componentes na placa arduino e desenvolvimento do *software* em Eclipse, foram testadas as funcionalidades propostas por esse trabalho. A Figura 8.6 apresenta o protótipo montado.

Figura 8.6 – Protótipo utilizando Arduino para coleta de informação do processo produtivo

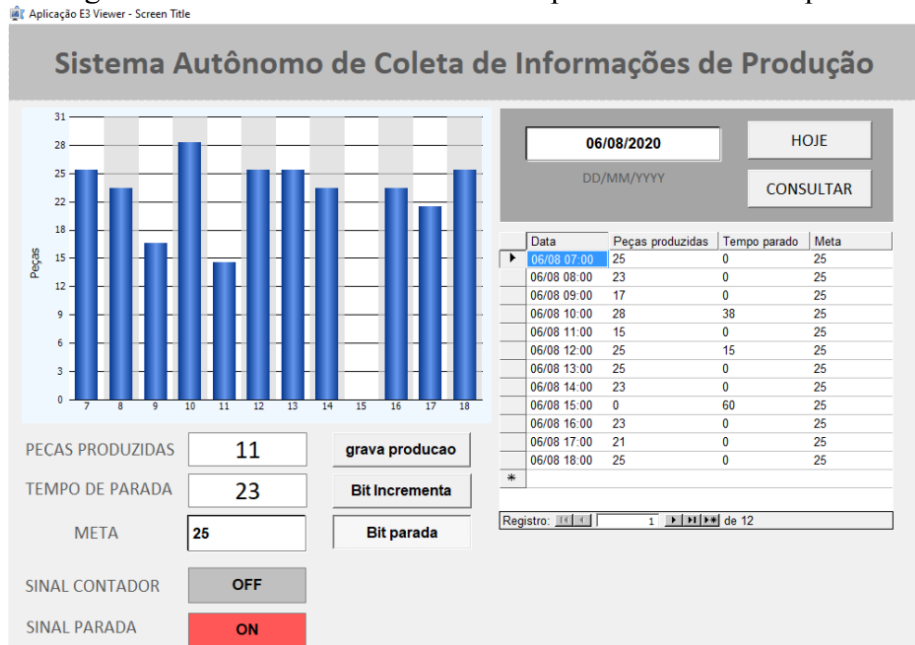


Fonte: Autor (2020).

Nos testes realizados para simular um ambiente fabril, utilizou-se os *push button's* para representar os sinais de uma máquina em produção. Em que o sinal do *push button 1* corresponde ao status da máquina, informando ao supervisor se ela está disponível para o operador. Em caso de indisponível uma mensagem em vermelho aparece na tela, solicitando a intervenção da área de apoio. Neste momento o supervisor inicia uma contagem de tempo, registrando o tempo de parada.

Na Figura 8.7 há uma imagem do supervisor com status de máquina indisponível para produção.

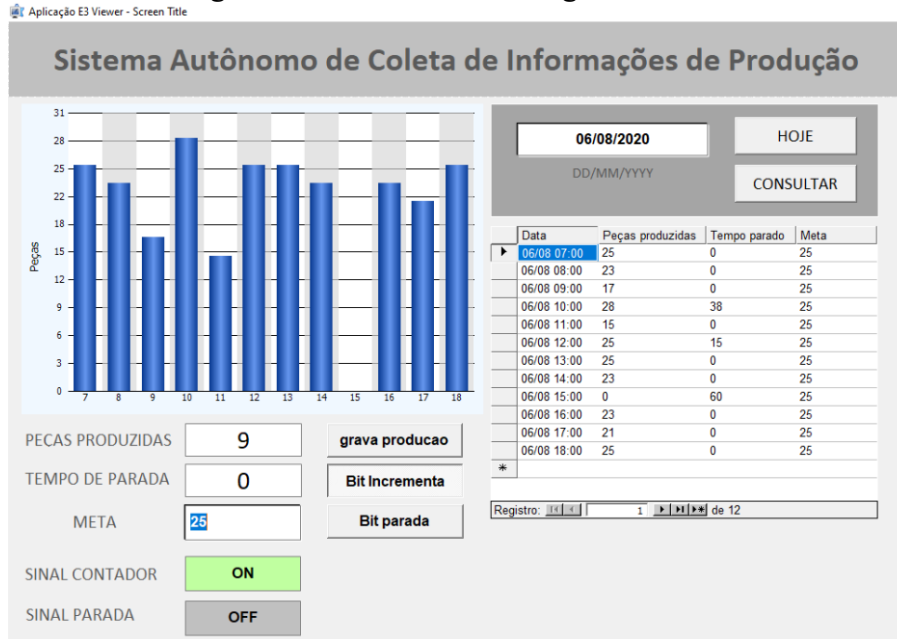
Figura 8.7 – SACIP monitorando a disponibilidade de máquinas



Fonte: Autor (2020).

Na simulação, o segundo *push button* ao ser pressionado envia um sinal para o supervisor, que soma e apresenta na tela gerencial o total de ciclos concluídos, simulando assim o sinal enviado por uma máquina no final de cada ciclo. Na Figura 8.8 há a imagem do supervisor, no momento da coleta de dados.

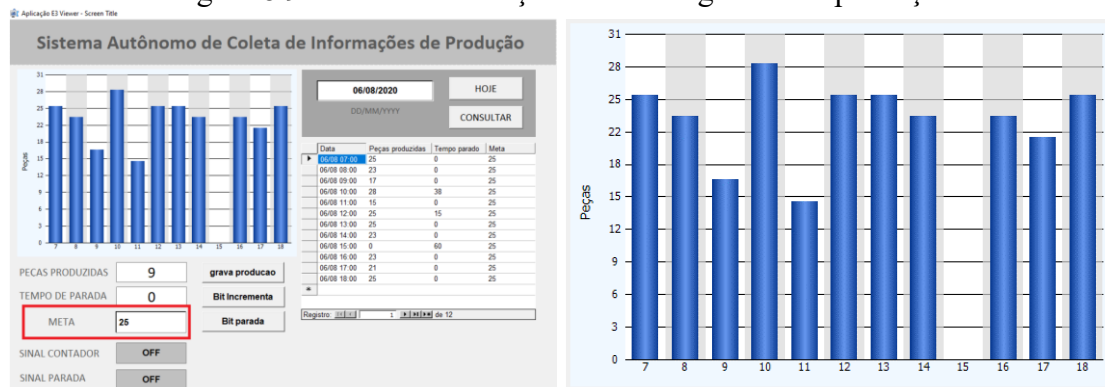
Figura 8.8 – SACIP em contagem de ciclos



Fonte: Autor (2020).

Na tela principal foi criado um campo, em que deve ser informada a meta de produção por hora. Servirá de base para comparar peças produzidas e peças que deixaram de ser produzidas, seja por máquina parada ou ociosa. Há um gráfico apresenta a produção hora a hora, alterando a escala automaticamente conforme a meta informada. A Figura 8.9 apresenta a imagem do gráfico finalizado, junto com a tela de indicação da meta.

Figura 8.9 – Tela de indicação da meta e gráfico de produção



Fonte: Autor (2020).

Além disso, foi projetado um banco de dados em Access, para gravar os dados coletados, permitindo assim a geração de relatórios com o histórico da máquina. Esses dados são gravados automaticamente no fim de cada hora. As informações armazenadas no banco de dados foram definidas por relevância, apresentados nos trabalhos utilizados

como base para esse estudo. Esses dados são: dia e hora da coleta de dados; peças produzidas entre uma coleta e outra; tempo de máquina indisponível e meta de produção. A Figura 8.10 apresenta o formato do banco de dados.

Figura 8.10 – Tela do banco de dados com as informações de produção

E3TimeStamp	Producao	Producao_C	TempoPara	TempoPara	Meta	Meta_Quali
06/08/2020 11:00:00	15	192	0	192	25	192
06/08/2020 12:00:00	25	192	15	192	25	192
06/08/2020 13:00:00	25	192	0	192	25	192
06/08/2020 14:00:00	23	192	0	192	25	192
06/08/2020 15:00:00	0	192	60	192	25	192
06/08/2020 16:00:00	23	192	0	192	25	192
06/08/2020 17:00:00	21	192	0	192	25	192
06/08/2020 18:00:00	25	192	0	192	25	192
07/08/2020 13:50:43	0	192	0	192	0	192
07/08/2020 14:50:00	6	192	1	192	25	192
07/08/2020 15:50:00	21	192	3	192	25	192
07/08/2020 15:50:51	0	192	0	192	0	192

Fonte: Autor (2020).

O SACIP em simulação apresentou um ganho para o controle de produção, se confirmando como uma ferramenta que deverá facilitar a disponibilidade de informações para o poder decisório de uma empresa e será analisada por etapas, mantendo a sequência já apresentada em outros capítulos. Porém, antes de iniciar a análise das etapas será apresentado no Quadro 8.1 o comparativo do sistema de coleta manual de dados e o sistema desenvolvido.

Quadro 8.1- Comparação da coleta manual e sistema desenvolvido

Parâmetro de produção	Coleta Manual	SACIP
Tempo de máquina disponível	Inexistente	Gráfico com indicação numérica
Peças produzidas	Anotação diária pelo operador	Dado indicado minuto a minuto
Tempo de máquina parada	Através dos pedidos de manutenção	Dado indicado minuto a minuto
Tempo de manutenção	Através dos pedidos de manutenção	Dado indicado minuto a minuto
Disponibilidade de dados coletados	24 horas	Dado indicado minuto a minuto
Erro de coleta de dados	Possibilidade existente	Possibilidade inexistente
Manipulação de dados	Possibilidade existente	Possibilidade inexistente
Erro no lançamento de dados	Possibilidade existente	Possibilidade inexistente

Fonte: Autor (2020).

A placa Arduino utilizada como porta de comunicação, se manteve estável em toda simulação, não apresentando nenhuma perda na coleta de dados. Também se confirmou como uma ferramenta muito útil, sendo em sua tecnologia embarcada e no seu preço de mercado, tornando-se uma opção viável para instalação em larga escala na indústria.

O *software* desenvolvido no programa Elipse realizou com exatidão todos os trabalhos para que fora programado. Sua representação gráfica apresentou um ótimo entendimento intuitivo. Como apresenta uma resposta dinâmica do status da fábrica simulada, apresentou a situação real atualizada a todo instante. Porém, não alcançou todos os objetivos planejados, faltando o cálculo de peças que deixaram de ser produzidas, tanto por máquina indisponível ou ociosa. Essa informação tornaria o sistema mais intuitivo, facilitando a análise de dados e agilizando a tomada de decisões, para correção do problema.

O gráfico programado ficou diferente do planejado, apresentando somente a contagem de peças hora a hora, faltando à representação de máquina indisponível e linha de meta.

Por último, a utilização de um banco de dados foi eficiente, podendo ser utilizado para consultar dados de turnos anteriores, facilitando estudos de históricos e não dependendo de indivíduos para serem atualizados. A consulta pode ser realizada tanto via SACIP (Elipse) ou diretamente no arquivo de banco de dados. Via SACIP, ao ser realizado uma consulta, o gráfico e a tabela apresentam os dados solicitados e Via Access. Os dados podem ser copiados e exportados para outros programas.

Com a utilização desse sistema, os gerenciamentos das empresas que utilizarem o método desenvolvido deverão ganhar em clareza e agilidade na divulgação de informação. Tendo um ganho nas tomadas de decisões.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi estudado o problema de veracidade na coleta manual de dados de produção, apresentando algumas dificuldades enfrentadas pelas empresas que utilizam esse método. Como solução para essa problemática, foi desenvolvido um sistema autônomo de coleta de informações de produção. O SACIP, em todo o período de

simulação, alcançou a maioria dos resultados esperados, coletando tanto a produção a cada fim de ciclo, quanto o status de disponível ou indisponível da máquina. Sua tela de apresentação facilitou a visualização dos dados coletados, que por meio de um gráfico apresenta as peças produzidas de hora em hora. Utilizando um banco de dados, essas informações são arquivadas e disponibilizadas para futuras consultas.

No caso de simulação de falha de equipamentos, o SACIP também se apresentou eficiente, informando a área de apoio que a máquina está indisponível para o operador e contabilizando o tempo de máquina parada. Para o desenvolvimento desse trabalho, foi definido somente a representação de máquina indisponível. Porém, no momento da implementação em situação real, deverá ser atualizado para as demais áreas de apoio, podendo ser inseridas tantas áreas que sejam necessárias.

O banco de dados em simulação correspondeu as funcionalidades esperadas, já que com ele os dados coletados são lançados instantaneamente, evitando erros tanto de coletas como na geração de relatórios e desafogando os indivíduos, que em outrora eram responsáveis por essa tarefa.

Após a validação desse trabalho junto à banca avaliadora, ele será apresentado à gerência da empresa Controil, para implementação do SACIP em suas linhas de produção.

Como considerações finais para este estudo, há alguns novos tópicos a serem estudados posteriormente, como a utilização de uma rede sem fio e o aumento da quantidade de máquina sendo supervisionadas. Também pode ser elaborado um gerador de *performance*, utilizando o SACIP para geração de índices e gráficos mais elaborados, baseados na OEE.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARDUINO. **What Is Arduino?** 2020. Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>. Acesso em: 01 jul. 2020.

CHIARADIA, A, J. **Utilização do indicador de eficiência global de equipamentos na gestão e melhoria contínua dos equipamentos:** um estudo de caso na indústria automobilística. 2004. 133f. Dissertação (Mestrado em engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/4470>. Acesso em 10 jul. 2020.

ELIPSE. **Treinamentos.** 2020. Disponível em <https://www.elipse.com.br/treinamentos-busca/>. Acesso em: 01 jul. 2020.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

HAACK, Felipe. **Sistema autônomo de coleta de informações de produção**. 2020. 35 f. Monografia (Graduação) - Curso de Tecnólogo em Automação Industrial, Universidade Estadual do Rio Grande do Sul - Uergs, Porto Alegre, 2020. Disponível em: <https://repositorio.uergs.edu.br/xmlui/handle/123456789/2399>. Acesso em: 30 jun. 2023.

HANSEN, R. C. **Overall Equipment Effectiveness: A Powerful Production / Maintenance Tool for Increased Profits**. New York: Industrial Press, 2002.

LJUNGBERG, O. Measurement of overall equipment effectiveness as a basis for TPM activities. **International Journal of Operations & Production Management**. v. 18, n. 5, p. 495-507, Maio 1998. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/01443579810206334>. Acesso em 12 mai. 2020.

McROBERTS, M. **Arduino básico**. São Paulo: Novatec, 2011.

9

KIT DIDÁTICO MODULAR PARA ENSINO UTILIZANDO ARDUINO

Gustavo Gregory

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo sintetiza o trabalho de conclusão de curso de Gregory (2020), ao implementar um recurso didático modular, para aprendizagem significativa, valendo-se de experimentos físicos.

A disciplina de física é de fundamental importância para a formação do cidadão contemporâneo, pois através dela obtemos instrumentos para compreender, intervir e participar da realidade, fazendo com que os jovens que concluíram o ensino médio, possam utilizar seus conhecimentos em física, independentemente das suas futuras áreas profissionais e universitárias (Ministério da Educação, 2020b).

Deste modo há a necessidade de elaborar atividades práticas, em que possam ser realizados experimentos que concretizem os estudos teóricos, tornando a física mais próxima ao cotidiano. Porém, em apenas 44,1% das escolas públicas há um laboratório de ciências (INEP, 2019).

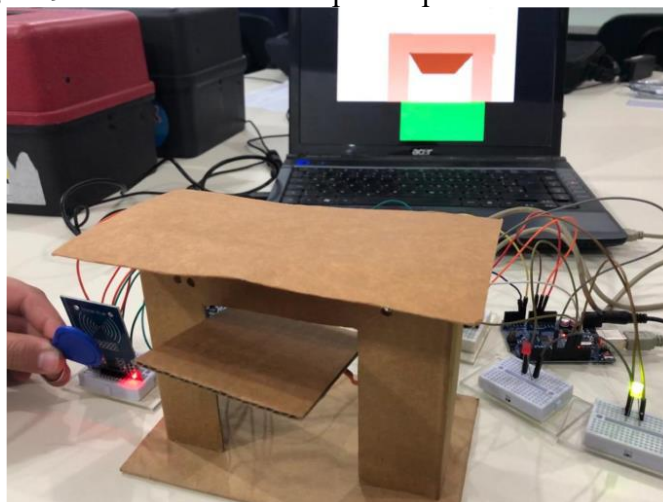
Uma das maneiras de contornar esta situação, é a utilização de experimentos de baixo custo, com o uso de microprocessadores e instrumentos de eletrônica, pois a utilização destes materiais permite a realização de atividades, sem a necessidade de ambientes especiais para experimentação, e os deixa visíveis em equipamentos, de modo que os alunos conseguem perceber toda a construção, até a resposta final (Castro, 2017).

Para Ribeiro:

[...] aparelhos e montagens improvisadas, executadas com os recursos mais modestos laboratórios, deve ser considerada não como uma solução de emergência, mas ao contrário, como uma nova técnica desejável para desenvolver as capacidades construtivas e inventivas do estudante (Ribeiro, 1955, p. 54).

Através de dispositivos como o módulo microcontrolador Arduino, pode-se realizar experimentos que retratem a física, não apenas como uma preparação para o ensino universitário, mas como uma relação entre a ciência e a sociedade, através de dispositivos que exemplifiquem atividades ocorridas no cotidiano dos alunos, como a medição do clima, a velocidade dos carros, a ativação de um portão eletrônico, entre outros, como expresso na Figura 9.1.

Figura 9.1– Acionamento de portão por RFID com Arduino



Fonte: Cima (2019a).

Para estudantes de ensino fundamental e médio, já é possível encontrar projetos que relacionem a tecnologia com disciplinas curriculares, normalmente através de um *software*, tornando-se uma aplicação mais virtual que prática. Este tipo de tecnologia traz o interesse dos alunos, mas não atinge o objetivo de exemplificar de forma prática. Para atingir os conceitos determinados pelo PCN+ (Parâmetros Curriculares Nacionais), que são orientações educacionais providas pelo ministério da educação aos responsáveis pela educação, como professores e coordenadores de escolas, é necessário a utilização de tecnologias práticas.

O PCN+, consiste em orientações educacionais complementares para o ensino médio. A proposta deste plano é de que o ensino médio não se torne apenas uma escolha entre a preparação para o ensino universitário ou para o exercício profissional. Porquanto visa concluir a educação básica de forma que cada aluno estabeleça uma conexão entre o ensino e a vida, qualificando-o para a cidadania e capacitando-o a aprendizagem permanente, fazendo com que o aluno possa prosseguir tanto para educação universitária, como o ambiente profissional (Ministério da Educação, 2020b).

Conforme o PCN+, a física deve-se apresentar como um conjunto de competências que façam com que os alunos possam perceber e lidar com situações e fenômenos naturais e tecnológicos, e fundamentalmente compreendê-los através dos princípios, modelos e leis (Ministério da Educação, 2020b).

Ainda de acordo com o PCN+:

A presença do conhecimento de Física na escola média ganhou um novo sentido a partir das diretrizes apresentadas nos PCNEM. Trata-se de construir uma visão da Física voltada para a formação de um cidadão contemporâneo, atuante e solidário, com instrumentos para compreender, intervir e participar na realidade. Nesse sentido, mesmo os jovens que, após a conclusão do ensino médio, não venham a ter mais qualquer contato escolar com o conhecimento em Física, em outras instâncias profissionais ou universitárias, ainda terão adquirido a formação necessária para compreender e participar do mundo em que vivem (Ministério da Educação, 2020a, p.59).

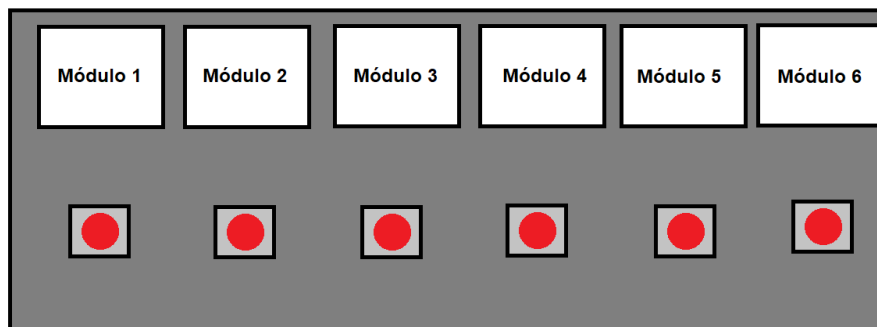
Conseqüentemente, para o ensino de física se padronizar aos parâmetros do PCN+, é preciso que os ensinamentos teóricos se associem com a prática em laboratórios didáticos. Conforme o PCN+:

É indispensável que a experimentação esteja sempre presente ao longo de todo o processo de desenvolvimento das competências em Física, privilegiando-se o fazer, manusear, operar, agir, em diferentes formas e níveis. É dessa forma que se pode garantir a construção do conhecimento pelo próprio aluno, desenvolvendo sua curiosidade e o hábito de sempre indagar, evitando a aquisição do conhecimento científico como uma verdade estabelecida e inquestionável (Ministério da Educação, 2020a, p.84).

Em uma situação em que a maioria das escolas públicas não tem um laboratório de ciências, e não tem dinheiro para investir em um, há a possibilidade do uso de microprocessadores, com outros instrumentos de eletrônica. Porém, para se utilizar estes materiais é necessário o conhecimento de programação.

A solução que torna o ensino de física em algo prático é a utilização de um Kit didático, utilizando materiais de baixo custo, como o Arduino e sensores de modo modular, que qualquer professor possa utilizá-lo, mesmo não conhecendo programação, apenas ligando ou desligando os módulos e selecionando através de botões os experimentos que serão realizados, conforme é ilustrado na Figura 9.2.

Figura 9.2 – Croqui do dispositivo proposto neste estudo



Fonte: Autor (2020).

Através de uma placa principal, será selecionado o módulo a ser usado, que conterá um *display* para representar fácil e rapidamente os valores que estão sendo obtidos.

O objetivo geral é a realização de um Kit didático, que torne simples a reprogramação do Arduino e de sua simples utilização, com módulos como:

- a) medidor de velocidade;
- b) estação meteorológica;
- c) oscilador harmônico;
- d) sensor de nível e sensor de intensidade de chuva.

Para atingir este objetivo serão realizadas as ações de: investigar os recursos didáticos aplicados no ensino médio, selecionar as melhores funcionalidades dos recursos didáticos significativos, implementar um protótipo funcional modular de experimentos físicos e validar o protótipo em uma experimentação controlada, em ambiente de ensino.

2 METODOLOGIA

O presente trabalho trata-se de um estudo prático e teórico, em que será construído um dispositivo, com o objetivo de exemplificar tarefas diárias, através do Arduino, para o ensino de física.

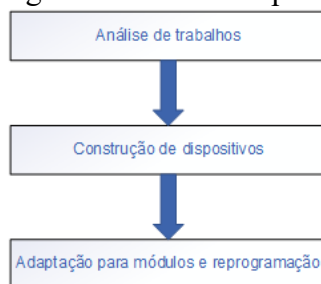
A pesquisa neste trabalho foi de caráter qualitativo, pois o intuito do trabalho é de compreender os fenômenos físicos, através de um experimento individual e seus resultados; é de caráter experimental pois trata-se de uma pesquisa científica, em que serão pesquisados conceitos, para assim construir um projeto baseados nas leis, regras e teoremas estudados; e também descritivo, pois se trata de um trabalho que mostrará todo

o seu desenvolvimento e resultados perante o experimento realizado, através de coleta de dados, análise e interpretação.

O universo de pesquisa utilizado para a base do trabalho é o ambiente estudantil, onde não haverá muitos fatores que comprometam o funcionamento do dispositivo. Utilizando este universo, pode-se definir que o público-alvo desta pesquisa são os professores e alunos de física.

O método que será aplicado consiste primeiramente na análise de trabalhos já realizados na área de ensino de física, e posteriormente na construção dos dispositivos, com base nos trabalhos já analisados, e sua adaptação para módulos que possibilitem a reprogramação de maneira simples, conforme é demonstrado no fluxograma da Figura 9.3.

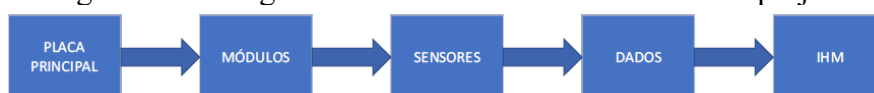
Figura 9.3 – Fluxograma do método aplicado neste trabalho



Fonte: Autor (2020).

Será realizada a construção dos seguintes dispositivos: medidor de velocidade em RPM, estação meteorológica, oscilador harmônico com integração do *plotter serial* do Arduino, sensor de nível de líquidos e intensidade de chuva. Esses dispositivos serão criados visando o universo estudantil, buscando ser dinâmico para incentivar a criatividade e o interesse dos alunos. Para cada dispositivo citado, será realizada uma montagem em uma placa de prototipagem, de modo que será dividido em módulos fechados, e através da Placa Arduino será escolhido o modo de operação do sistema, sendo que os dados obtidos pelos módulos serão representados em uma IHM (Interface Humano-Máquina). Na Figura 9.4 é demonstrado o diagrama de blocos representando o funcionamento do projeto.

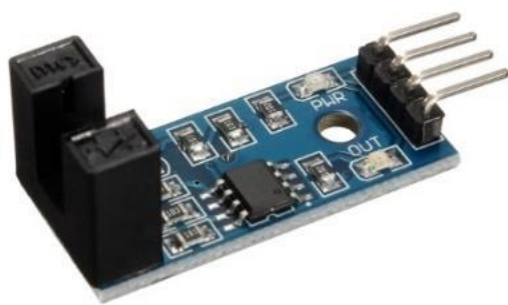
Figura 9.4 – Diagrama de blocos do funcionamento do projeto



Fonte: Autor (2020).

Para a construção do módulo de medidor de velocidade em RPM serão utilizados os seguintes materiais: motor 3-6, disco para *encoder* e um sensor de velocidade. Além destes materiais, será utilizado um circuito integrado L293D para o acionamento do PWM (*Pulse Width Modulation*), que consiste em uma técnica usada para gerar sinais analógicos, através de dispositivos digitais. Assim podendo controlar, não apenas o estado ligado e desligado, como também posição ou velocidade. A Figura 9.4 demonstra fisicamente estes dois componentes.

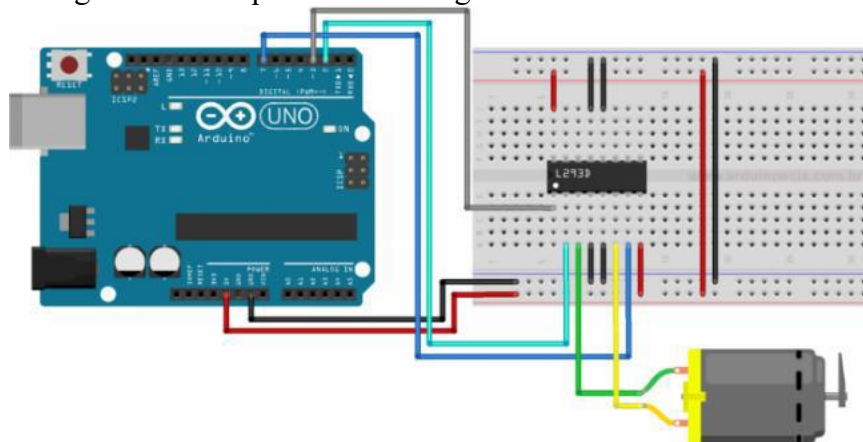
Figura 9.4 – Sensor de rotação e circuito integrado gerador de PWM, respectivamente



Fonte: Arduino e Cia (2020) e Arduino e Cia (2014).

Este módulo tem a finalidade de mostrar como é realizada a medição de velocidade em RPM (Rotações Por Minuto) e sua relação com o PWM. Através de um potenciômetro será incrementado ou decrementado o PWM, fazendo assim com que a velocidade do motor aumente ou diminua, respectivamente. A montagem será baseada na Figura 9.5.

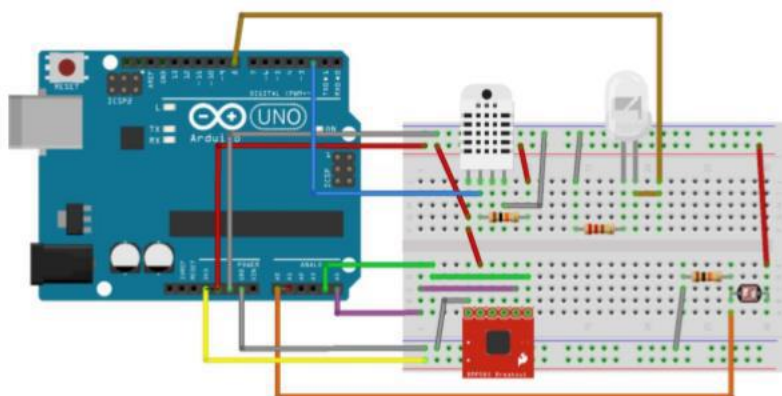
Figura 9.5 – Esquema de montagem do módulo de velocidade



Fonte: Arduino e Cia (2014).

A estação meteorológica medirá diversas grandezas, como: pressão atmosférica, temperatura, umidade e luminosidade. Para isso serão utilizados: o sensor BMP280, para a medição de pressão atmosférica e temperatura; o sensor AM2302, que irá realizar a medição de umidade e temperatura; e o sensor LDR que será utilizado para a medição de luminosidade, além de um LED para sinalização da luminosidade. A montagem será baseada no trabalho de Castro (2017) conforme Figura 9.6.

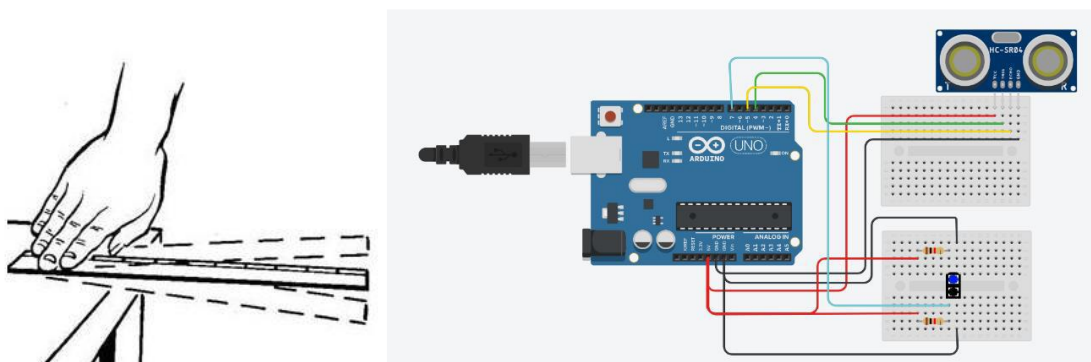
Figura 9.6 – Esquema de montagem da estação meteorológica



Fonte: Castro (2017).

O experimento oscilador harmônico é composto apenas por duas réguas presas em uma das suas extremidades e dois sensores, um ultrassônico e um óptico reflexivo. Nesse módulo será utilizado o *plotter serial* para receber os dados transmitidos pelos sensores e, deste modo, construir o gráfico do movimento oscilatório. Também será estudada a diferença entre o uso dos sensores. O movimento oscilatório que será aplicado na régua é representado na Figura 9.7.

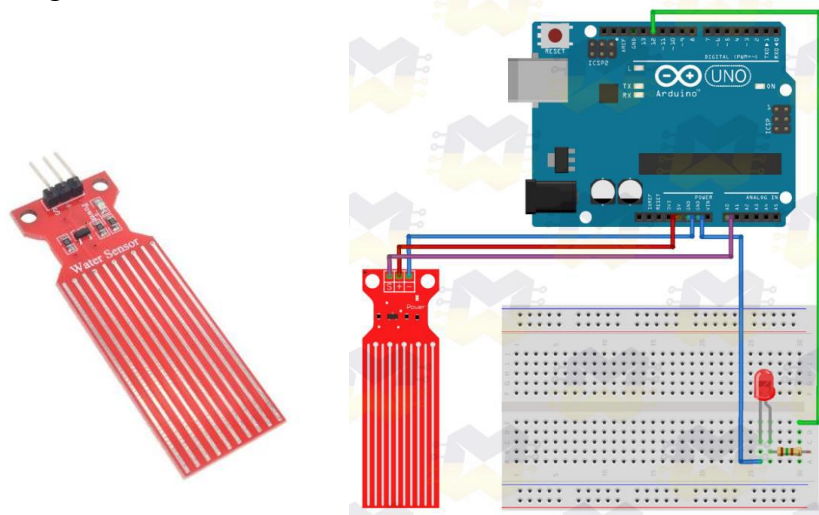
Figura 9.7 – Movimento oscilatório da régua e módulo de medição da oscilação



Fonte: Adaptada de Áudio Escola (2011).

O último módulo se trata de um sensor de nível e sensor de chuva, em que serão utilizados dois sensores para medição de nível, como na Figura 9.8, com seu módulo de medição.

Figura 9.8 – Sensor de nível com seu módulo de medição



Fonte: Oliveira (2019).

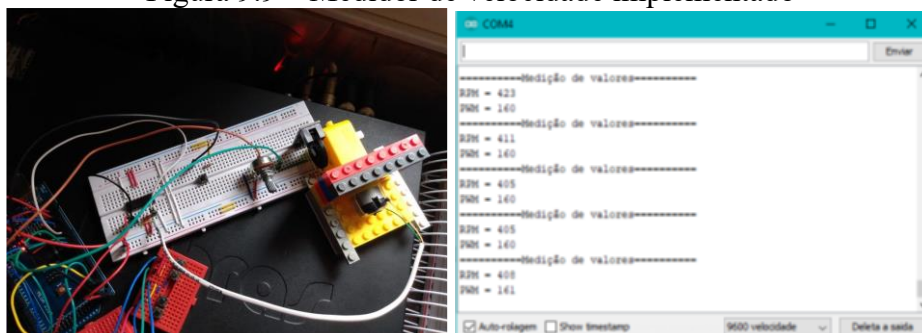
Além destes módulos, há a placa principal, que contém a placa Arduino, que irá realizar todo o processamento para obtenção de dados e a escolha entre os módulos, um *display LCD* 128 x 64, que exibirá os dados em tempo real, conforme o módulo que está sendo utilizado.

3 RESULTADOS E ANÁLISE

Neste capítulo é relatados os resultados do projeto. Primeiramente apresenta a forma de montagem de cada módulo e seus respectivos resultados. Posteriormente será mostrado o menu realizado para facilitar a visualização dos dados.

O medidor de velocidade foi montado em uma placa de prototipagem, onde foi fixados o circuito integrado L293D, um botão, um potenciômetro e o sensor de velocidade. Além disso, foi criado um suporte para fixar o motor, de modo que o disco *encoder* fique entre os sensores optointerruptores. Para a obtenção de resultados foi criado uma rotina para receber o valor do PWM, enviado para o motor e sua respectiva rotação, imprimindo seus valores no monitor serial da IDE do Arduino. Como comprova no monitor serial na Figura 9.9, com o medidor de velocidade.

Figura 9.9 – Medidor de velocidade implementado



Fonte: Autor (2020).

Executadas 5 medições de PWM, se verifica 5 valores de rotação para cada medição, sendo o motor girando em sentido horário. Os dados estão representados na Tabela 9.1.

Tabela 9.1 – Medição de PWM e RPM em sentido horário

PWM	RPM 1	RPM 2	RPM 3	RPM 4	RPM 5
160	390	402	396	411	408
167	420	414	426	423	426
196	435	456	447	438	441
200	462	471	456	465	471
254	510	492	498	504	522

Fonte: Autor (2020).

Também é executada a mesma medição, mas com o motor girando em sentido anti-horário, com os dados representados na Tabela 9.2.

Tabela 9.2 – Medição de PWM e RPM em sentido anti-horário

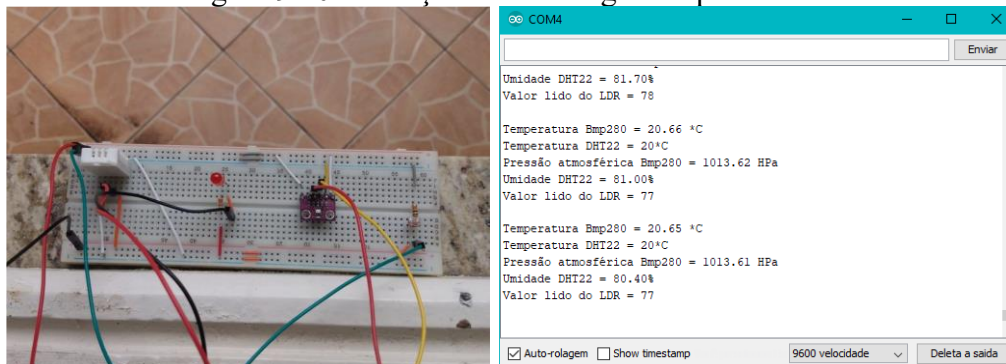
PWM	RPM 1	RPM 2	RPM 3	RPM 4	RPM 5
160	390	390	402	399	393
167	414	411	417	423	405
196	441	444	450	432	438
200	450	435	450	441	447
254	498	498	489	504	501

Fonte: Autor (2020).

A estação meteorológica foi montada em uma placa de prototipagem rápida, com todos os sensores. Para as medições, essa matriz de contatos ficou em locais de livre acesso e ao ar livre, com propósito dos sensores detectarem o ambiente e realizarem a comparação com os dados de outras estações meteorológicas. Para a obtenção dos valores

lidos pelos sensores foi utilizado o monitor serial do Arduino, em que foi obtida a leitura de temperatura de dois sensores, a pressão atmosférica, a umidade do ar e o valor lido pelo sensor LDR. Como comprova no monitor serial na Figura 9.10.

Figura 9.10 – Estação meteorológica implementada



Fonte: Autor (2020).

A Tabela 9.3 mostra os resultados obtidos pela estação meteorológica do Arduino em relação aos resultados de The *Weather Company* (2020), coletados no dia 27/07/2020, às 15:10 horas.

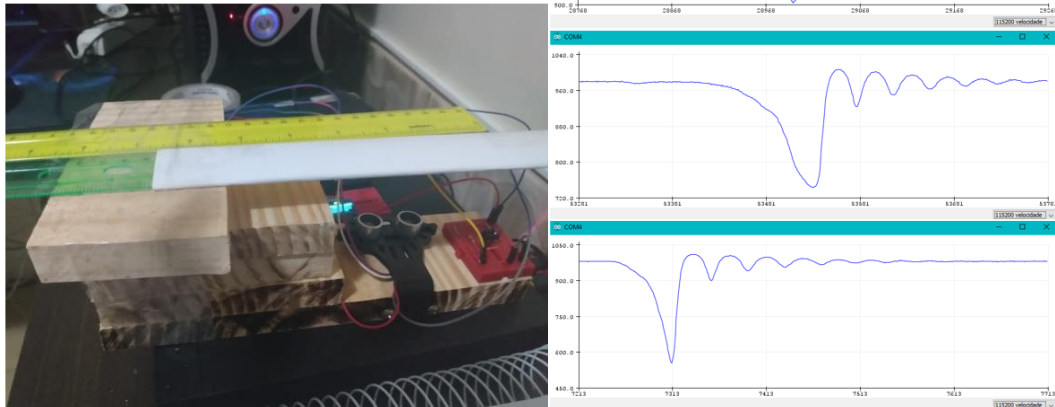
Tabela 9.3 – Dados obtidos pela estação Arduino e site Weather.com

Dados	Estação Arduino	Site Weather.com
Temperatura	20,65°C e 20°C	20°C
Pressão Atmosférica	1.013,61 hPa	1.015,2 hPa
Umidade	80,4%	79%

Fonte: Autor (2020).

Para a montagem final do oscilador harmônico, foi montado uma base de madeira para a fixação dos sensores, e uma base mais elevada para a fixação da ponta fixa das réguas. Além disso, uma das réguas foi revestida por papel, para facilitar a obtenção de dados pelo sensor óptico reflexivo. Para a obtenção dos gráficos foi utilizado o *plotter serial* da IDE do Arduino, em que foi realizado 3 amostragens para cada sensor. Os gráficos obtidos pelo sensor óptico reflexivos estão representados na Figura 9.11.

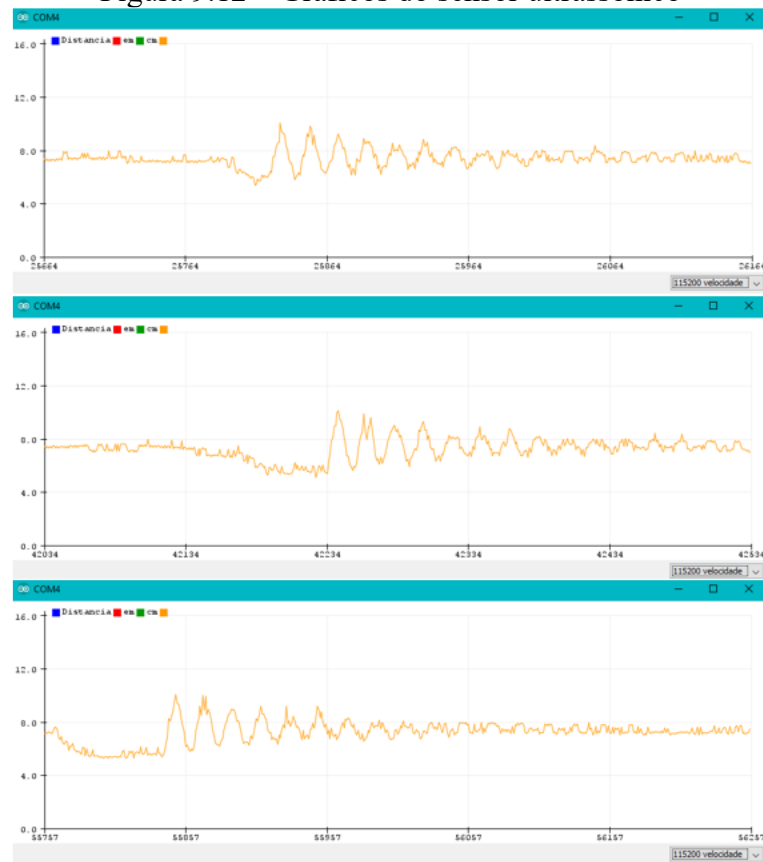
Figura 9.11 – Oscilador harmônico e o gráfico do sensor óptico reflexivo



Fonte: Autor (2020).

Os gráficos obtidos pelo sensor ultrassônico estão representados na Figura 9.12.

Figura 9.12 – Gráficos do sensor ultrassônico



Fonte: Autor (2020).

O sensor de nível e o sensor de intensidade de chuva foram montados em um recipiente com capacidade de 400 ml, de modo que a água possa ser reutilizada para os 2 sensores. O sensor recebe valores analógicos, que possibilitam a medição do nível conforme o valor lido e o recipiente, que está fixado. Neste trabalho, foram adicionados dois estados: recipiente cheio, que será apresentado quando o valor analógico do sensor atingir um valor acima de 300, e recipiente não cheio, enquanto este valor não é atingido.

Já o sensor de intensidade de chuva tem três estados: dois estados digitais que demonstram se está chovendo ou não está chovendo, e um estado analógico que demonstra a intensidade da chuva. Para demonstrar os estados dos sensores, foi utilizado o monitor serial. Na Figura 9.13 pode-se ver a demonstração do sensor de nível quando é atingido o seu máximo.

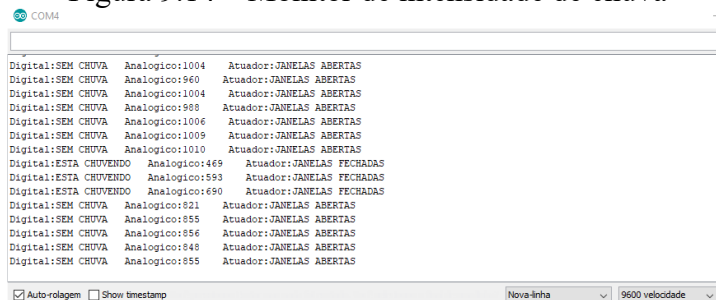
Figura 9.13 – Modulo de nível e chuva



Fonte: Autor (2020).

Para o sensor de intensidade de chuva, o monitor demonstra o estado digital, que por sua vez representa se está chovendo ou se está sem chuva, e o estado analógico, que demonstra um atuador que irá fechar ou abrir as janelas, conforme a intensidade da chuva. Como é mostrado na Figura 9.14.

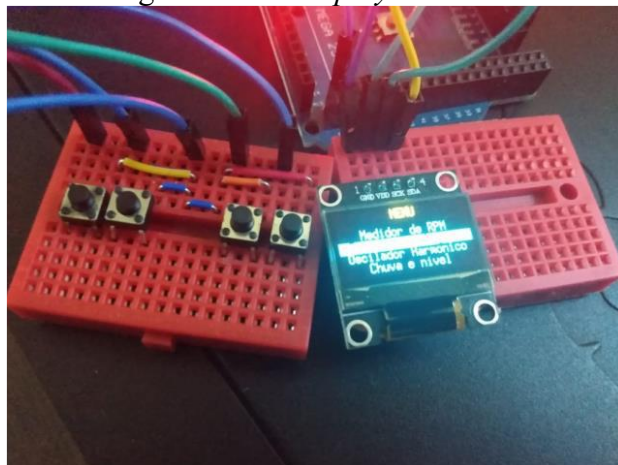
Figura 9.14 – Monitor de intensidade de chuva



Fonte: Autor (2020).

Foi instalado também, junto a placa principal, um *display* OLED e um controle, para selecionar o módulo que será utilizado, além de representar as informações demonstradas no monitor serial e facilitar o uso do *kit*. O *display* e controle estão representados na Figura 9.15.

Figura 9.15 – *Display* e controle



Fonte: Autor (2020).

Os resultados esperados para o desenvolvimento de uma solução, que torne o ensino de física prático, visando a facilidade e versatilidade, são a utilização de ferramentas que possam interagir com os alunos de modo a mostrar algo relacionado ao cotidiano. Portanto, a utilização do kit didático demonstrado neste trabalho satisfaz completamente estes requisitos, conforme é representado no Quadro 9.1.

Quadro 9.1 - Resultados esperados e obtidos

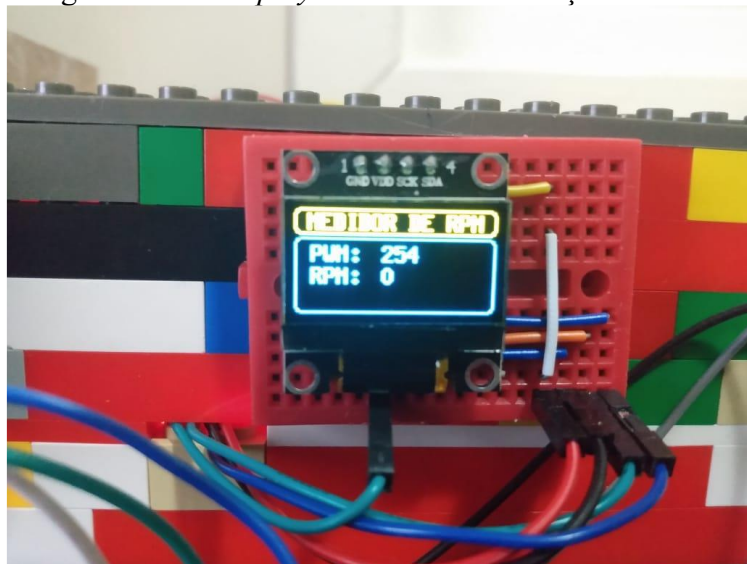
Resultados esperados	Resultados obtidos
Solução prática para ensino	Todos os módulos necessitem da prática para seu funcionamento
Facilidade	Foi desenvolvido um controle e <i>display</i> gráfico para navegação entre os módulos
Versatilidade	O kit contém quatro módulos com funcionamentos totalmente distintos
Relação ao cotidiano	Para cada módulo o aluno consegue relacionar a atividades de seu dia a dia

Fonte: Autor (2020).

Cada módulo deste projeto tem uma característica que difere dos outros. Neste tópico será apresentado a funcionalidade de cada um e sua respectiva relação ao cotidiano do aluno. Através do medidor de rotações em RPM, obtém-se dois valores: acionamento

em PWM e rotação em RPM. Ao selecionar este módulo, é exibido as informações no *display* gráfico, conforme Figura 9.16.

Figura 9.16 – *Display* do medidor de rotação em RPM



Fonte: Autor (2020).

Ao pressionar o botão localizado no módulo, o motor é acionado. Através do potenciômetro, também localizado no módulo, é possível regular o valor de acionamento PWM, enviado ao motor os valores de 160 a 254.

Conforme os dados obtidos pela tabela, é possível obter uma média de RPM e suas máximas variações para um sentido. Os valores de acionamento PWM utilizado no momento estão representados na Tabela 9.4.

Tabela 9.4 - Média e variações máximas da RPM

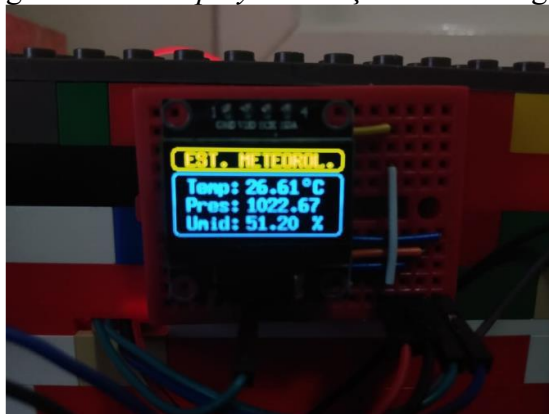
Acionamento PWM	Média da rotação, em RPM	Variação máxima da rotação, em RPM
160	394,8	7,2
167	414,0	9,0
196	441,0	9,0
200	444,6	9,6

Fonte: Autor (2020).

Com os valores obtidos na tabela, é possível confirmar que o módulo responde bem aos valores de acionamento PWM, sendo que no máximo variou 9,6 rotações de sua média calculada. Este módulo pode ser facilmente relacionado com o visor de conta-giros de um carro, rotações de polias ou a rotação de um torno mecânico.

A estação meteorológica envia os dados de temperatura, umidade e pressão atmosférica, pelo *display* gráfico. Conforme a luminosidade do ambiente, um LED vermelho é ligado. O *display* gráfico é demonstrado na Figura 9.17

Figura 9.17 - *Display* da estação meteorológica



Fonte: Autor (2020).

Pelo que se pode verificar dos dados da tabela, a estação meteorológica do Arduino, representa valores parecidos aos obtidos por estações meteorológicas reais. Além disso, através do sensor de luminosidade pode-se compreender o funcionamento de uma fotocélula.

Para o funcionamento do oscilador harmônico, é necessário a escolha do sensor que será utilizado, que é realizado pelo próprio controle do *kit*. Além disso, a placa deve ser ligada pelo seu cabo USB a algum computador, com o aplicativo Arduino IDE instalado, a fim de observar a plotagem do gráfico. A Figura 9.18 demonstra o menu de escolha entre sensores.

Figura 9.18 - *Display* do oscilador harmônico



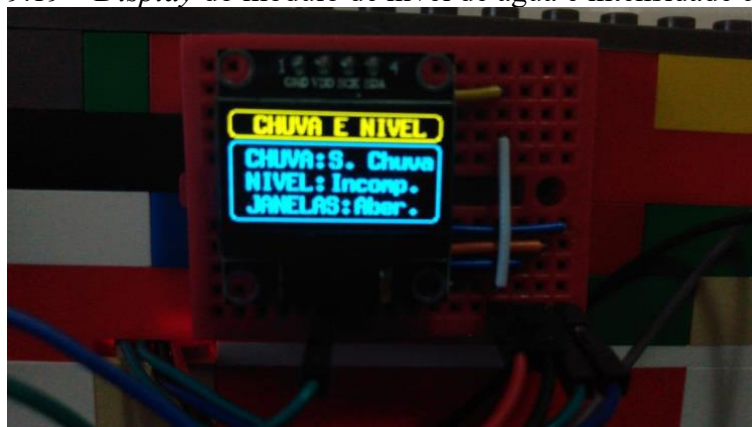
Fonte: Autor (2020).

As figuras demonstram que a proposta do sensor óptico-reflexivo para a obtenção da oscilação da régua é superior que a obtida pelo sensor ultrassônico, já que sua resposta

tem menos ruído. As oscilações que podem ser visualizadas no gráfico estão presentes em diversas atividades de física, como em um sistema massa-mola, um pêndulo, uma lâmina vibrante, e até mesmo fora da física, como um *bungee jumping*, ou a espécie de algas *Oscillatoria*, que realizam este mesmo movimento.

O módulo de nível de água e intensidade de chuva funcionam através do contato da água com o circuito dos sensores. No *display* gráfico é representado se está chovendo no momento, se o nível de água está completo ou incompleto, e conforme a intensidade da chuva, é representado o estado de janelas fechadas ou abertas, sendo confirmado pela Figura 9.19.

Figura 9.19 – *Display* do módulo de nível de água e intensidade de chuva

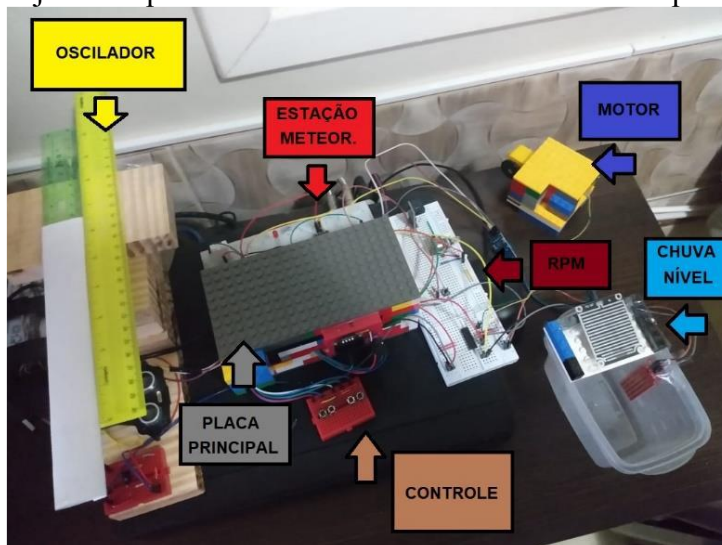


Fonte: Autor (2020).

Este módulo pode demonstrar como é realizado o controle de nível de uma substância, ou até mesmo como funciona uma automação residencial.

Para garantir a facilidade de utilização, o projeto completo foi montado de maneira que não há a necessidade de nenhuma remontagem de módulo, como é comprovado pela Figura 9.20.

Figura 9.20 – Projeto completo do sistema de monitoramento de experimentos de física



Fonte: Autor (2020).

Além disso, há o controle no qual é possível realizar a escolha do módulo a ser utilizado, assim como há a opção de sair deste módulo e voltar para o menu principal. Na Figura 9.21 são representados o controle e o menu principal.

Figura 9.21 – Controle e menu principal na interface com o usuário



Fonte: Autor (2020).

Para a navegação do menu são necessárias as seguintes informações:

- a) o botão anterior tem a função de subir um nível no menu de seleção, ao menos que esteja na primeira opção, que neste caso irá para o último item do menu;
- b) o botão próximo tem a função de descer um nível no menu de seleção, ao menos que esteja na última opção, que neste caso irá para o primeiro item do menu;
- c) o botão selecionar tem a função de escolher o módulo selecionado;
- d) o botão voltar tem a função de retornar ao menu independentemente do módulo sendo utilizado.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A hipótese da utilização de um kit didático, utilizando Arduino, para tornar o ensino prático se confirmou, pois o kit demonstrou que consegue relacionar as atividades de seus módulos a situações do cotidiano, assim atingindo as orientações educacionais previstas pelo PCN+. Não necessita de um ambiente especial para ensaios, pois foi testado em um ambiente não controlado, e por se tratar de materiais de baixo custo, não necessita de um grande investimento para ser implementado em escolas.

Em um ambiente educacional de nível médio, muito dos professores não tem acesso a linguagens de programação, por não fazer parte da formação acadêmica dos docentes. Porém, este kit consegue ser implementado mesmo assim, por conter uma interface amigável, em que é utilizado apenas um comando para sua navegação. Além disso, não é necessário realizar nenhuma montagem prévia, para o funcionamento dos módulos. Sendo assim, não é necessário nenhum conhecimento de programação, elétrica ou eletrônica, da pessoa que irá utilizá-lo.

Este trabalho focou majoritariamente na disciplina de física, porém para trabalhos futuros sugere-se o desenvolvimento de módulos que possam ser utilizados nas outras áreas de conhecimento, de modo que esse kit possa fazer parte do aprendizado de diversas maneiras, pela sua versatilidade. Outra sugestão é a programação de uma interface em que possa ser realizado a plotagem de gráficos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARDUINO E CIA. **Sensor óptico reflexivo TCRT5000 com Arduino**. Disponível em: <https://www.arduinoecia.com.br/sensor-optico-reflexivo-tcrt5000-arduino/>. Acesso em: 20 abr. 2020.

ARDUINO E CIA. **Controle de motor DC com o L293D Ponte H**. 2014. Disponível em: <https://www.arduinoecia.com.br/sensor-de-velocidade-lm393-arduino/>. Acesso em: 10 mai. 2020.

ÁUDIO ESCOLA. **O som e suas características**. 2011. Disponível em: <http://audioescola.blogspot.com/>. Acesso em: 12 mai. 2020.

CASTRO, L. H. M. **O uso do *Arduino* e do *Processing* no ensino de física**. 2016. 84 f. Dissertação (Mestrado em Física) – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Instituto de Biociências, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Rio de Janeiro, 2017.

CIMA, R. **RFID para o acionamento do portão garagem**. 2019a. Disponível em: <https://profcima.blogspot.com/2019/07/rfid-para-o-acionamento-do-portao.html>. Acesso em: 2 abr. 2020.

GREGORY, Gustavo. **Kit didático modular para ensino utilizando Arduino**. 2020. 50 f. Monografia (Graduação) - Curso de Tecnólogo em Automação Industrial, Universidade Estadual do Rio Grande do Sul - Uergs, Porto Alegre, 2020. Disponível em: <https://repositorio.uergs.edu.br/xmlui/handle/123456789/1636>. Acesso em: 30 jun. 2023.

INEP. **Números revelam deficiências das escolas de ensino médio**. 2019. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/conaes-comissao-nacional-de-avaliacao-da-educacao-superior/195-secretarias-112877938/seb-educacao-basica-2007048997/12598-publicacoes-sp-265002211>. Acesso em: 8 abr. 2020.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. **Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais: Ciências da Natureza, Matemática e Suas Tecnologias**. Disponível em <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf>. Acesso em 2 jun. 2020a.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. **Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais**. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/conaes-comissao-nacional-de-avaliacao-da-educacao-superior/195-secretarias-112877938/seb-educacao-basica-2007048997/12598-publicacoes-sp-265002211>. Acesso em 3 jun. 2020b.

OLIVEIRA, E. **Como usar com Arduino – Módulo Sensor Detector de Nível / Profundidade de Água**. 2019. Disponível em: <https://blogmasterwalkershop.com.br/arduino/como-usar-com-arduino-modulo-sensor-detector-de-nivel-profundidade-de-agua/>. Acesso em: 15 mai. 2020a.

RIBEIRO, J. C. **O ensino experimental da Física no curso secundário**. Curso de Aperfeiçoamento para Professores de Física do Ensino Secundário. Atas do encontro. São Paulo: IBECC; MEC; ITA, 1955.

THE WEATHER COMPANY. **The Weather Channel**. Disponível em <https://weather.com/pt-BR/clima/hoje/l/BRXX0043:1:BR>. Acesso em: 27 jul. 2020.

10

ESTUDO PRELIMINAR DE SISTEMA FOTOVOLTAICO DE IRRIGAÇÃO EM PEQUENAS PROPRIEDADES RURAIS

Sidnei Borges de Oliveira

1 INTRODUÇÃO

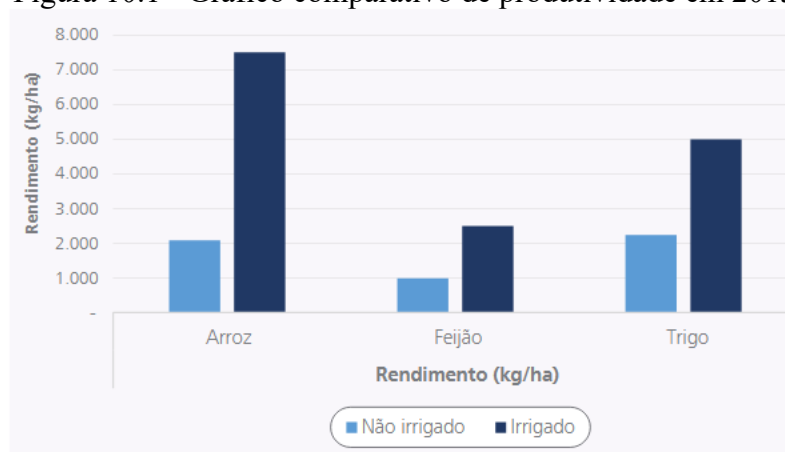
Este capítulo sintetiza o trabalho de conclusão de curso de Sidnei Borges de Oliveira (Oliveira, 2020), ao implementar um sistema de irrigação automatizada, para pequenas propriedades rurais.

A progressiva escassez de recursos naturais, dentre estes a água, com suas previsíveis consequências sociais, ambientais, econômicos e políticos, tende a ser o maior problema a ser resolvido pela tecnologia, a fim de preservar a produção industrial e, principalmente, agrícola, garantindo a produção de alimentos para a sociedade e sua crescente demanda por maiores quantidades e melhor qualidade de alimentos. Bem como a necessidade de o agricultor gerar renda, para si e sua família, a fim de manter-se em atividade no campo.

Tendo em conta que a produção de alimentos está concentrada na pequena propriedade, nem sempre atendida por fontes de água próximas ou abundantes, faz-se oportuno o uso de tecnologias de automação para melhoria da produtividade, com uso de irrigação automatizada. Já em uso em outros países como Espanha, Marrocos, Argélia, entre outros, com bons resultados (Nogueira, 2009).

Os ganhos de produtividade no Brasil, a partir de uma boa irrigação, podem ser melhor ilustrados observando o gráfico comparativo de produtividade, em áreas irrigadas e não irrigadas, na Figura 10.1.

Figura 10.1 - Gráfico comparativo de produtividade em 2015



Fonte: Brasil (2017).

Conforme a figura, a Agência Nacional de Águas (ANA) estima que houve aumento de 3,6 vezes da produção de Arroz, 2,5 vezes de Feijão e 2,2 vezes de Trigo, importantes componentes da dieta no Brasil, a partir do uso de irrigação na agricultura brasileira (Brasil, 2017).

A irrigação apresentou um histórico crescente e acelerado nos últimos 15 anos e, mesmo não havendo ainda dados consolidados sobre os benefícios totais da agricultura irrigada, devido à ausência de levantamentos nacionais, a ANA avalia que o uso de irrigação seguirá tendência de aumento, devido a fatores como melhoria do produto agrícola, principalmente frutas, melhor aproveitamento da área de cultivo, assim como produção de artigos mais nobres e de maior valor agregado, melhor planejamento da colheita e expansão do emprego na área técnica com o surgimento de fábricas de equipamentos de irrigação e surgimento de equipamentos automatizados para irrigação (Brasil, 2017).

O Brasil, mesmo possuindo a maior reserva de água doce do planeta já necessita fazer racionamento de água potável em aproximadamente 25% dos seus municípios, sendo que, no interior nordestino, o racionamento de água já atinge 75% do total das cidades.

Também a escassez e distância das fontes de água nas pequenas propriedades, maiores produtoras de alimentos, para garantir a produção agrícola e abastecimento da sociedade poderá sofrer ainda mais com a falta de recursos hídricos.

Com a redução de 10% do desperdício de água de irrigação para agricultura, maior fonte consumidora, através da racionalização do uso da água, pode-se normalizar fornecimento de água para as cidades.

Atualmente a área irrigada no Brasil ainda possui potencial de 30 milhões de hectares, mas irriga apenas 7 milhões de hectares (Mha), ocupando a sétima posição mundial. O Japão, com uma área total de pouco mais de 4% do território brasileiro, irriga o equivalente a 40% da área irrigada do Brasil. Considerando a demanda crescente em todo o planeta por alimentos, fibras e bioenergia, as mudanças climáticas globais e o potencial de expansão da agricultura irrigada no país, fica evidente que a agricultura irrigada deve ser tratada como uma estratégia regional e nacional de produção, geração de emprego, renda e desenvolvimento sustentável (Brasil, 2019a).

Também a Agricultura é a principal fonte de sobrevivência de 86% das comunidades rurais pelo mundo e proporciona emprego a mais de um bilhão de habitantes, sendo a principal dificuldade nestas comunidades, o acesso a água em quantidades que satisfaçam às demandas agrícolas (Morales, 2011).

A questão do uso da irrigação para plantio em pequenas propriedades já está há muito tempo sendo estudada, principalmente em países muito populosos como Japão, Índia, Chile, Peru, entre outros, para equacionamento da produção de alimentos. Mas também no Brasil tem sido levada em consideração para aumento da produtividade e inserção do pequeno agricultor como fornecedor de alimentos, inclusive no semiárido nordestino (Secretaria da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural do RGS, 2014), (Coelho, 2015).

O bombeamento com uso de sistemas fotovoltaicos é uma das soluções que tem se apresentado como alternativa viável e de baixo custo, inclusive por não necessitar uso de baterias (Morales, 2011) e aplicável à pequena propriedade para ajudar a equacionar a questão da crescente escassez de mananciais a céu aberto que antes eram facilmente acessíveis ao pequeno agricultor.

A racionalização do uso da água é também foco deste trabalho, haja visto ser hoje, a irrigação responsável por 69% do uso da água consumida no país (Brasil, 2019a). A Figura 10.2 mostra a evolução da área irrigada no Brasil.

Figura 10.2 - Evolução da área irrigada no Brasil



Fonte: (BRASIL, 2019a).

Também em casos de áreas antes improdutivas, mas que foram alcançadas por projetos de reforma agrária, os sistemas de irrigação por energia solar vieram agregar valor na forma de viabilizar aumento da produtividade e qualidade da produção, inserindo economicamente as famílias através da venda de seus produtos a um mercado mais exigente, além da subsistência, através de projetos de baixo custo e fácil de implementação e operação (Scalambrini; Araujo; Costa Neto, 2006).

Na maioria dos casos, o clima local precisará ser levado em consideração, pois determinará a demanda hídrica da cultura a ser irrigada, levando-se em conta também que cada cultura terá sua demanda hídrica a depender de períodos específicos do ano (Morales, 2011).

Como objetivo geral se define por este trabalho, implementar sistema automatizado de irrigação e racionalização do uso da água com uso de microcontrolador para dosagem na plantação, alimentado por fontes sustentáveis como fotovoltaica e eólica.

Os objetivos específicos se traduzem na decomposição do objetivo geral, sendo definidos como:

- a) implementar tecnologias de automação para irrigação, ao custo em torno de 3 salário-mínimo vigentes em 2020 de investimento inicial;
- b) usar sistemas de irrigação com uso de bombeamento por motores elétricos, acionados por painéis solares ou geradores eólicos;
- c) fazer a dosagem de água a partir do sensoriamento de umidade do solo, a fim de garantir produtividade e evitar escassez de água na produção de alimentos.

Cada solo necessita de irrigação modulada em acordo com o tipo de solo da região, à evaporação média da água e à natureza da cultura que se pretende produzir. Desta forma a utilização de modelos controlados e automatizados poderá ser útil à racionalização do uso da água, sem prejuízo da qualidade e quantidade produzida. Ao contrário, o uso de irrigação controlada, ainda que de modo experimental, tem se mostrado como agregador de qualidade e aumento de produtividade com redução do desperdício de água (Scalambrini; Araujo; Costa Neto, 2006).

Também levando em conta as crescentes demandas por combustíveis fósseis, associados à previsível escassez nas próximas décadas, o custo destas fontes tende a tornar-se inviável para uso em dispositivos de energia mecânica para bombeio em sistemas de irrigação para pequenas propriedades. Deste modo, tanto a segurança de fornecimento, quanto a sustentabilidade ambiental, tornam a energia solar e energia eólica as fontes preferenciais para atendimento de demandas de irrigação em pequenos lotes de economia familiar.

[...] introduzir novas tecnologias para melhorar a qualidade de vida em zonas rurais é um exercício de inovação do entorno social, como tal, as variáveis do processo de transferência vão além da questão tecnológica, incluindo aspectos sociais, econômicos, políticos e ambientais (Nogueira, 2009).

2 METODOLOGIA

Para alcançar os resultados almejados neste trabalho, foi selecionado um sistema de tecnologia de automação baseado em microcontrolador Arduíno, alimentado por painéis solares, mas podendo ser, também, gerador eólico, com reserva de energia por baterias ou fontes simples.

Sensores de umidade são usados para determinar a dosagem de água na cultura a ser produzida, com um sistema de bombeamento por motor elétrico, comandado por relé, via Arduíno, e válvula de acionamento elétrico (solenoide), com abertura e fechamento controlados por microcontrolador, para dosagem de água.

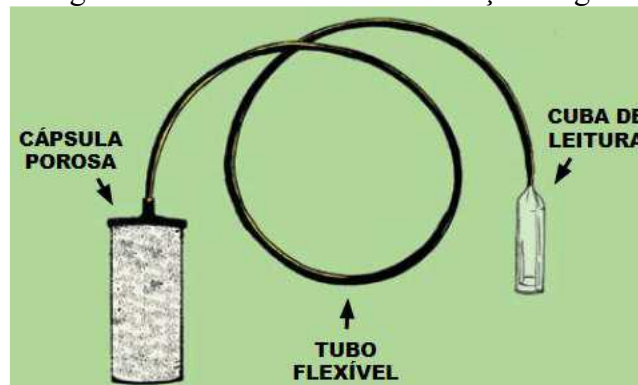
A pesquisa fundamentou-se, principalmente, no levantamento de dados em campo, para verificação de sua viabilidade como instrumento de pesquisa científica, com montagem e confecção de código e testes preliminares em bancada com computador. Também propõe levantar dados relativos ao consumo de água em sistemas de irrigação para solos e culturas diversas, além de servir como planta piloto, para determinação de

volume de água e potência a ser instalada, a depender da área, solo e cultura a ser irrigada. Para efeito apenas deste trabalho, a pesquisa determinou o volume de água necessário para irrigar determinado tipo de solo, a fim de comprovar sua viabilidade como equipamento de testes, para racionalização do consumo de água para irrigação.

Para controle da dosagem de água, necessita-se conhecer o tipo de solo e a capacidade de retenção (permeabilidade), além da umidade necessária ao tipo de cultura a ser produzida.

Conforme Figura 10.3, a permeabilidade do solo pode ser medida por instrumento chamado Irrigas. E a determinação da quantidade de água para a planta pode ser determinada pelo uso de tabelas, já implementadas para diversas culturas (Coelho *et al.*, 2014).

Figura 10.3 - Instrumento de medição irrigas



Fonte: Brasil (2019b)

Conforme a figura, irrigas é um instrumento criado pela Embrapa, destinado a medições de umidade do solo. Em sua forma mais simples, é constituído de uma vela cerâmica, introduzida no solo, unida a uma cuba transparente por um tubo flexível. A medição é feita através da cuba, que é mergulhada em um frasco contendo água. Caso ocorra subida do nível de água no frasco, o solo está úmido, caso contrário, está seco.

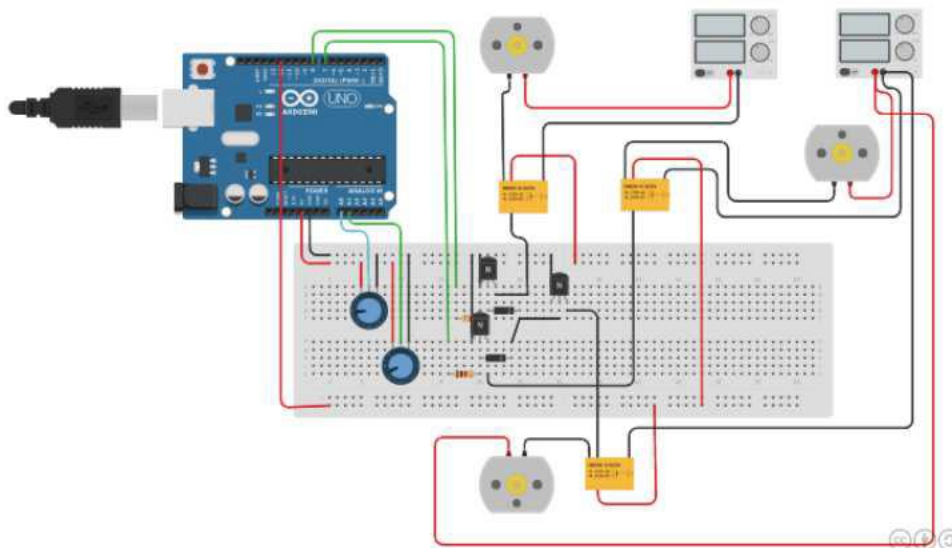
Para este estudo, a determinação da umidade é calculada mediante a aplicação de valores em equacionamento matemático, segundo fórmula determinada para cada região e cultura a ser irrigada.

A dosagem de água é iniciada quando o sensor atingir leituras de umidade mínima do solo, enviando este sinal à unidade controladora Arduíno, que, partindo a bomba de água e abrindo a válvula solenoide respectiva, envia o volume de água necessária para a dosagem de irrigação.

O sensor capacitivo de umidade, por sua vez, monitora a umidade do solo até o valor previamente determinado por tipo de solo e cultura. E ao ser atingido este valor, a unidade controladora comanda o fechamento da(s) válvula(s) solenoide e o desligamento da bomba elétrica.

A Figura 10.4 apresenta o diagrama elétrico do método a ser aplicado.

Figura 10.4 – Diagrama elétrico do método aplicado no projeto

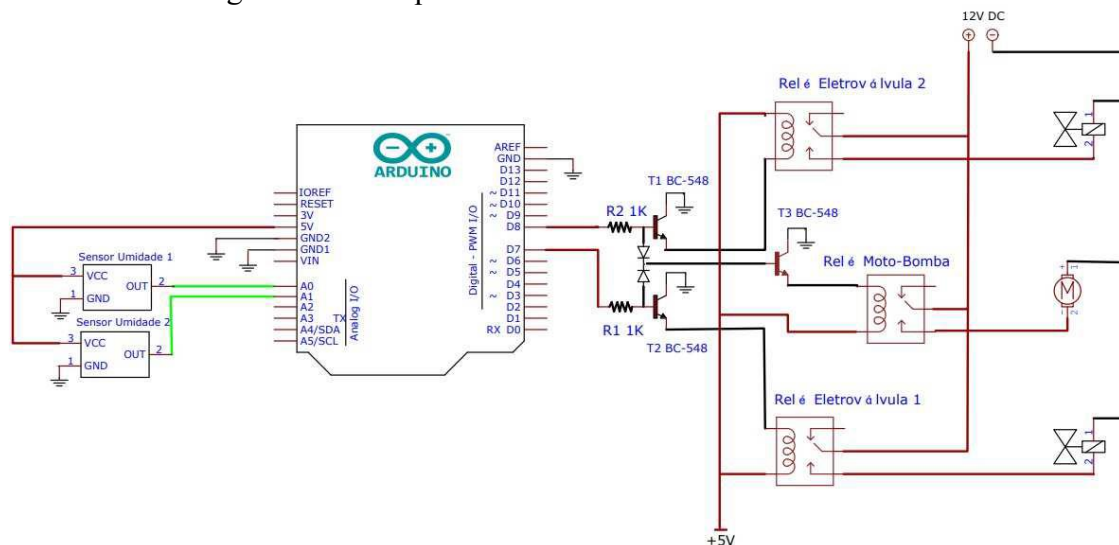


Fonte: Autor (2020).

De acordo com a figura, que ilustra o diagrama de montagem para teste da metodologia aplicada, usou-se uma placa microcontroladora Arduino para acionar uma bomba d'água, movida por motor elétrico, o qual é comandado por relé.

O diagrama elétrico de montagem é representado na Figura 10.5.

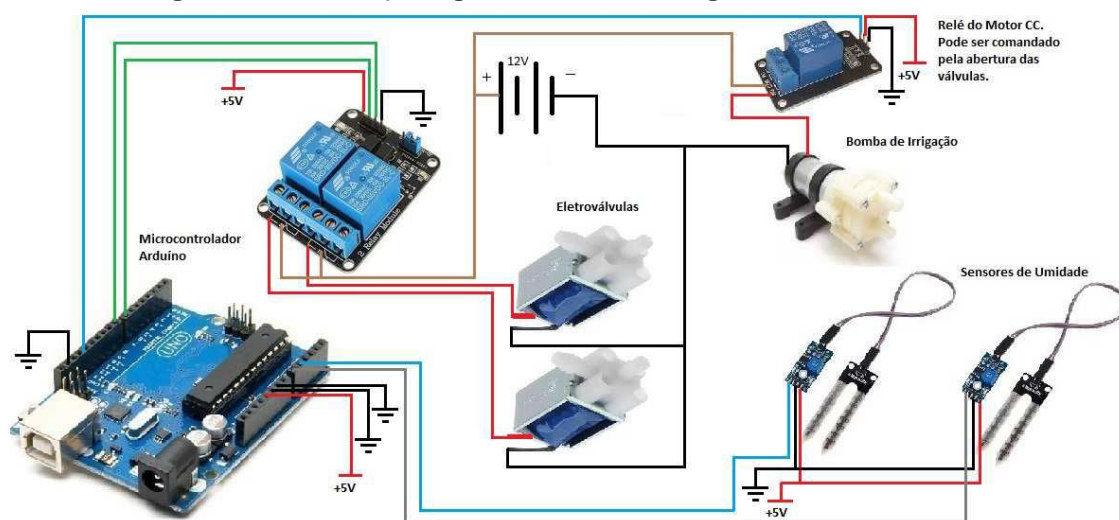
Figura 10.5 - Esquema elétrico utilizando módulo Arduino



Fonte: Autor (2020).

Como esboço da montagem realizada, a Figura 10.6 apresenta a forma física com que os componentes se interligam.

Figura 10.6 - Esboço esquemático da montagem física do sistema



Fonte: Autor (2020).

Para o efeito de teste simulado por computador, usou-se dois potenciômetros, que foram implementados para gerar sinais analógicos, simulando a saída de sensores de umidade aplicado ao solo de uma plantação. Estes sensores enviam sinais para as entradas analógicas do microcontrolador e estes sinais são, então, comparados aos valores previamente ajustados no microcontrolador, neste caso em 40% de umidade do solo, e, ao ser igualado, as saídas em +5V são acionadas para comandar os relés, que também

pode ser comandado via saída PWM. Estes, então, acionam a partida da bomba elétrica e abertura da(s) válvula(s) solenoide, em caso de baixa umidade do solo, para fazer a irrigação da plantação.

Ao ser atingida a umidade requerida, previamente ajustada, o sinal +5V é cortado, retornando o relé para a posição desligado, cortando a alimentação elétrica para o motor e as válvulas.

Para calcular a dosimetria de água para cada cultura, se usa o método da evapotranspiração da cultura (ET_c) pela Equação 10.1 (Brasil, 2005).

$$ET_c = K_c \cdot ET_o \quad (10.1)$$

Sendo que:

- a) ET_c = Evapotranspiração da cultura;
- b) K_c = Coeficiente da cultura;
- c) ET_o = Consumo Hídrico de referência para a região.

Ao definir-se a cultura, pode-se, então, calcular o consumo médio de água para cada fase do crescimento, até a maturação e colheita, a depender de cada cultura.

Um método de cálculo simples (Hargreaves-Samani) e muito empregado, está demonstrado na Equação 10.2, específico para a videira, considerando o dia 28 de junho de 2020 como base para os dados.

$$ET_o = 0,0135 \cdot K \cdot Ra \cdot \sqrt{(T_{max} - T_{min}) \cdot (T_{med} + 17,8)} \quad (10.2)$$

Sendo que:

- a) K = 0,162 para regiões continentais e 0,190 para regiões costeiras;
- b) Ra = 7,8 (junho) e 8,1 (julho) é a radiação solar no topo da atmosfera, expressa em equivalente de evaporação (mm/dia), extraído da Tabela 10.1;
- c) T_{max} = 20,9 °C (junho) e 20,5 °C (julho);
- d) T_{min} = 10,9 °C (junho) e 9,1 °C (julho);
- e) T_{med} = 0,5 (T_{máx} + T_{mín});
- f) K_c = 0,45 (produção em latada, após colheita).

A Tabela 10.1 apresenta a radiação solar para latitudes sul.

Tabela 10.1 - Radiação solar para latitudes sul

LAT	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
0	15,0	15,2	15,7	15,3	14,4	13,9	14,1	14,8	15,3	15,4	15,1	14,8
2°	15,3	15,7	15,7	15,1	14,1	13,5	13,7	14,5	15,2	15,5	15,3	15,1
4°	15,5	15,8	15,6	14,9	13,8	13,2	13,4	14,3	15,1	15,6	15,5	15,4
6°	15,8	16,0	15,6	14,7	13,4	12,8	13,1	14,0	15,0	15,7	15,8	15,7
8°	16,1	16,1	15,5	14,4	13,1	12,4	12,7	13,7	14,9	15,8	16,0	16,0
10°	16,4	16,3	15,5	14,2	12,8	12,0	12,4	13,5	14,8	15,9	16,2	16,2
12°	16,6	16,3	15,4	14,0	12,5	11,6	12,0	13,2	14,7	15,8	16,4	16,5
14°	16,7	16,4	15,3	13,7	12,1	11,2	11,6	12,9	14,5	15,8	16,5	16,6
16°	16,9	16,4	15,2	13,5	11,7	10,8	11,2	12,6	14,3	15,8	16,7	16,8
18°	17,1	16,5	15,1	13,2	11,4	10,4	10,8	12,3	14,1	15,8	16,8	17,1
20°	17,3	16,5	15,0	13,0	11,0	10,0	10,4	12,0	13,9	15,8	17,0	17,4
22°	17,4	16,5	14,8	12,6	10,6	9,6	10,0	11,6	13,7	15,7	17,0	17,5
24°	17,5	16,5	14,6	12,3	10,2	9,1	9,5	11,2	13,4	15,6	17,1	17,7
26°	17,6	16,4	14,4	12,0	9,7	8,7	9,1	10,9	13,2	15,5	17,2	17,8
28°	17,7	16,4	14,3	11,6	9,3	8,2	8,6	10,4	13,0	15,4	17,2	17,9
30°	17,8	16,4	14,0	11,3	8,9	7,8	8,1	10,1	12,7	15,3	17,3	18,1
32°	17,8	16,2	13,8	10,9	8,5	7,3	7,7	9,6	12,4	15,1	17,2	18,1
34°	17,8	16,1	13,5	10,5	8,0	6,8	7,2	9,2	12,0	14,9	17,1	18,2
36°	17,9	16,0	13,2	10,1	7,5	6,3	6,8	8,8	11,7	14,6	17,0	18,2
38°	17,9	15,8	12,8	9,6	7,1	5,8	6,3	8,3	11,4	14,4	17,0	18,3
40°	17,9	15,7	12,5	9,2	6,6	5,3	5,9	7,9	11,0	14,2	16,9	18,3

Fonte: Brasil (2005).

A Tabela 10.2 apresenta os valores médios de Kc para produção latada¹⁷.

Tabela 10.2 - Valores médios de Kc para produção em latada

Período	Kc
Brotação - Florescimento	0,50
Frutificação - Maturação	0,90
Após a Colheita	0,45

Fonte: Brasil (2005).

A Tabela 10.3 apresenta os valores médios de Kc para produção espaladeira¹⁸.

Tabela 10.3 - Valores médios de Kc para produção em espaladeira

Período	Kc
Brotação - florescimento	0,30
Frutificação - maturação	0,70
Após a colheita	0,35

Fonte: Brasil (2005).

A Tabela 10.4 apresenta os valores mensais de ETo na cidade de Novo Hamburgo (Estado do Rio Grande do Sul – Brasil), no ano de 2020, mensurados em milímetros por dia (mm/dia).

¹⁷ Latada significa algo na posição horizontal e suspensa.

¹⁸ Espaladeira significa algo na posição vertical do tipo cerca.

Tabela 10.4 - Valores mensais ETo em Novo Hamburgo, no ano de 2020 (mm/dia)

MÊS	Tmax (°C)	Tmin (°C)	Ra* Lat=30°	ET DIÁRIA mm/dia	Volume DIÁRIO L/planta	ET MENSAL mm/dia	Volume MENSAL L/planta
JAN	32,3	19,6	17,8	6,1	22,8	188,2	705,6
FEV	31,7	19,6	16,4	5,4	20,3	151,8	569,2
MAR	30,7	18,6	14,0	4,5	17,0	140,2	525,6
ABR	27,3	15,5	11,3	3,3	12,5	99,8	374,4
MAI	23,2	11,8	8,9	2,3	8,7	71,9	269,7
JUN	20,9	10,1	7,8	1,9	7,0	56,0	210,0
JUL	20,5	9,1	8,1	1,9	7,3	60,4	226,7

Fonte: Brasil (2020a).

Valores calculados, bem como suas relações, são apresentados na Figura 10.7.

Figura 10.7 – Cálculos para demanda de água em cultura

$$ET_c = K_c \cdot ETo \quad (4)$$

$$ETo \text{ (Junho)} = 0,0135 \cdot 0,162 \cdot 7,8 \cdot \sqrt{(20,9 - 10,1)} \cdot ((0,5(20,9 + 10,1) * 17,8)$$

$$ETo = 0,0135 \cdot 0,162 \cdot 7,8 \cdot 3,3 \cdot (15,5 + 17,8)$$

$$ETo \text{ (Junho)} = 1,9 \text{ mm/d}$$

$$ETo \text{ (Julho)} = 0,0135 \cdot 0,162 \cdot 8,1 \cdot \sqrt{(20,5 - 9,1)} \cdot ((0,5(20,5 + 9,1) * 17,8)$$

$$ETo = 0,0135 \cdot 0,162 \cdot 8,1 \cdot 3,38 \cdot (14,8 + 17,8)$$

$$ETo \text{ (Julho)} = 1,9 \text{ mm/d}$$

Cálculo para demanda de água, após colheita, meses de Junho e Julho.

$$ET_c = 0,45 \cdot 1,9 = 0,86 \text{ mm/dia}$$

Como $1,0 \text{ mm} = 10.000 \frac{\text{L}}{\text{ha}}$, $0,86 \text{ mm} = 8.600 \text{ L/ha}$

Fonte: Autor (2020).

Além dos critérios climáticos, ambientais e demanda hídrica de cada cultura, para seleção do sistema a ser implementado, é necessário avaliar a relação custo/benefício oferecido para cada opção disponível, verificando sua viabilidade econômica para a cultura que se deseja irrigar (Brasil, 1998). Pode-se estimar a viabilidade do investimento a partir de sua depreciação, para melhor avaliar sua adequação aos custos de produção.

3 RESULTADOS E ANÁLISE

O levantamento dos dados foi realizado na localidade de Novo Hamburgo, Rio Grande do Sul em uma pequena propriedade onde são plantados verduras, legumes e frutas da região.

Os dados da Tabela 10.5 foram extraídos de testes em sistema montado experimentalmente, com apenas um sensor para verificação da viabilidade deste trabalho, para fins de estudo e medição de umidade do solo, visando a irrigação.

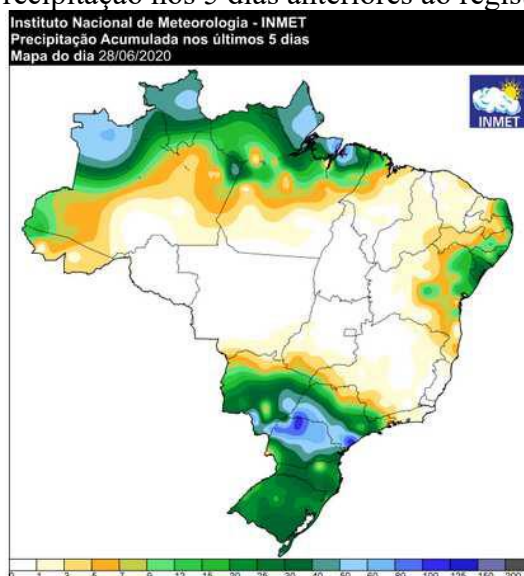
Tabela 10.5 - Dosagem medida com 1 sensor

Dosagem calculada/Junho:	Dosagem medida:	Diferença absoluta:	Diferença Relativa [%]
1,9 mm/dia	1,4 mm/dia	0,5 mm/dia	26,32
1,9 mm/dia	1,2 mm/dia	0,7 mm/dia	36,84
1,9 mm/dia	1,5 mm/dia	0,4 mm/dia	21,05
1,9 mm/dia	1,3 mm/dia	0,6 mm/dia	31,57
		Valor Médio [%]	28,94%

Fonte: Autor (2020).

Inicialmente, os dados diferiram das medições esperadas, devido à intensidade de chuvas nos dias anteriores à medição, em torno de 30 mm/dia, por 5 dias consecutivos, o que podem ter provocado o erro nas leituras ou falha de interpretação de dados. Mas foram registrados, para fins comparativos, com uma segunda medição, já programada para o sistema usando dois sensores. A precipitação nos 5 dias anteriores ao registro da Tabela 10.5, pode ser percebida na Figura 10.8.

Figura 10.8 - Precipitação nos 5 dias anteriores ao registro de resultados



Fonte: Brasil (2020b).

Os dados da Tabela 10.6 foram extraídos de medições, já com sistema montado com dois sensores, numa sequência de 5 dias, com precipitação em torno de 0 mm/dia e que se aproximaram bastante dos valores de referência, comprovando não o erro, mas a diferença de umidade no solo testado. Evidenciando que havia maior quantidade de água acumulada no solo durante a primeira medição e, portanto, necessitava menor quantidade de água para atingir os percentuais de umidade, para irrigação determinados na unidade microcontroladora, Arduíno, de 40% como referência.

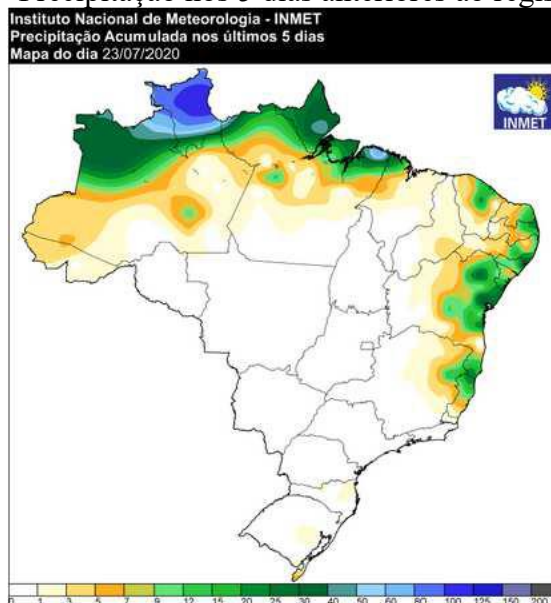
Tabela 10.6 - Dosagem medida com 2 sensores

Dosagem calculada/Julho:	Dosagem medida:	Diferença absoluta:	Diferença Relativa [%]
1,9 mm/dia	1,7 mm/dia	0,2 mm/dia	10,52
1,9 mm/dia	1,8 mm/dia	0,1 mm/dia	5,26
1,9 mm/dia	1,9 mm/dia	0,0 mm/dia	0,0
1,9 mm/dia	1,6 mm/dia	0,3 mm/dia	15,78
		Valor Médio [%]	7,89%

Fonte: Autor (2020).

A precipitação nos 5 dias anteriores ao registro da tabela pode ser observada na Figura 10.9.

Figura 10.9 - Precipitação nos 5 dias anteriores ao registro do estudo

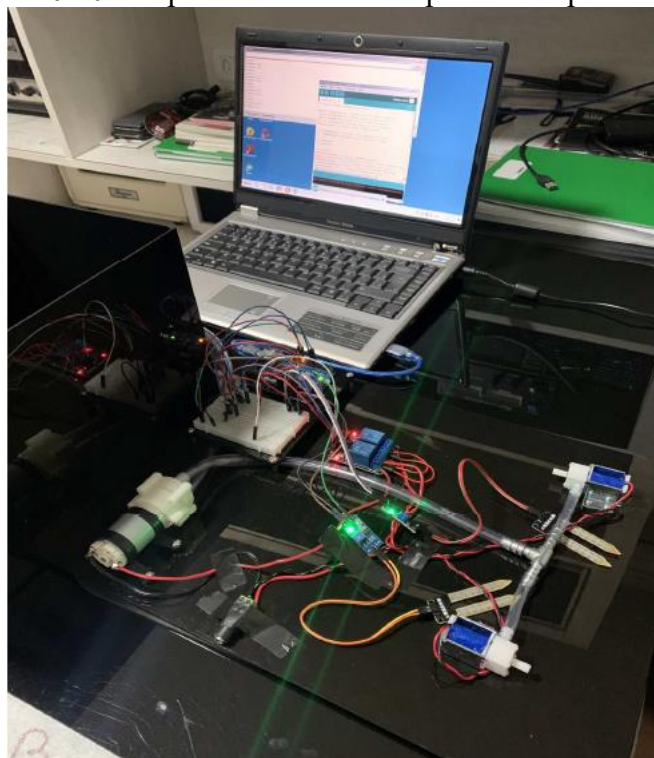


Fonte: Brasil (2020b).

Conforme tabelas apresentadas, a diferença entre os dados calculados e os dados reais devem-se a variação e quantidade de umidade absorvida pelo solo.

Conforme Figura 10.10, este experimento procurou analisar a adequação do método automatizado para quantificação dos volumes de água e as diferenças entre as dosagens calculadas, para um determinado tipo de cultura, no caso a Videira, comum na região sul. E comparar com os dados encontrados, para verificação não só do tipo de solo e sua absorção de água, como também para a região específica, confirmando ou não a precisão dos levantamentos com método automatizado.

Figura 10.10 - Experimento montado para testes preliminares



Fonte: Autor (2020).

Na Figura 10.11, já em campo, tratou-se de verificar a eficiência das medições de dosagem de água, para efeito de irrigação automatizada, para confirmação dos resultados iniciais e comparação com medições esperadas.

Figura 10.11 - Experimento em Campo



Fonte: Autor (2020).

Inicialmente, ao usar dois sensores, esperava-se encontrar valores semelhantes aos valores de referência das Tabelas 10.5 e 10.6. Os valores medidos na Tabela 10.5 haviam sido encontrados após uma sequência de 5 dias com precipitação média de 30 mm/dia, conforme Figura 10.8. No entanto, ao usarem-se dois sensores, aumentando a precisão das amostragens, e levando-se em consideração uma sequência de 5 dias, com precipitação em torno de 0 mm/dia no segundo teste, encontraram-se valores com divergência próxima de 20% entre as duas medições, o que demonstra que não foi o aumento da complexidade do equipamento que levou a maior eficiência dos testes. Que o instrumento com apenas um sensor já determinava com boa dose de precisão a quantidade de água necessária para os cálculos. E que a diferença entre os valores de referência e os valores medidos davam-se exatamente pela quantidade de chuvas no período, no solo testado.

O equipamento revelou eficácia na medição de dosagem automatizada de água de irrigação e eficácia como modelo reduzido de planta piloto, para modelagem de plantas de irrigação de pequenas propriedades rurais, até 10 hectares, para fins de racionalização da água necessária ao cultivo nas quais, necessariamente, não haja fornecimento de energia elétrica de fontes comerciais, podendo utilizar fontes fotovoltaicas ou eólicas com auxílio de baterias.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este projeto pode ser utilizado para dimensionamento de sistemas de irrigação para pequenas propriedades, até 10 hectares, a fim de racionalizar o uso de água para fins de cultivo, com resultados na melhoria da qualidade e quantidade da produção agrícola, bem como planta piloto para quantificação de água para cultivo. Principalmente, no foco da agricultura familiar, com uso de fontes alternativas de energia, como fotovoltaica ou eólica.

Os estudos em automação determinaram a aplicação de conhecimentos em áreas afins. A programação em microcontroladores, que possibilitaram a confecção de códigos específicos para funcionamento de diversos dispositivos, inclusive este trabalho. A disciplina de circuitos elétricos definiu a lógica de montagem para aproveitamento e uso bem dimensionado de recursos técnicos, com redução de custos de montagem. O planejamento de projetos definiu o ordenamento das etapas de montagens e finalização de testes e adequação aos prazos para finalização deste trabalho.

Tendo em vista que este trabalho se trata de um estudo preliminar, cabe prosseguir as pesquisas visando ao aperfeiçoamento do uso e aplicabilidade:

- a) testes com equipamentos em maior escala;
- b) testes em culturas e solos diversos;
- c) testes em períodos de estiagem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. EMBRAPA. **Sistema de Produção**. 2005. Disponível em: <https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Uva/MesaNorteMinas/irrigacao.htm>. Acesso em: 09 jul. 2020.

BRASIL. Agência Nacional de Águas (ANA). **Uso da água na agricultura irrigada**. 2017. Disponível em <http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/AtlasIrigacao-UsodaAguanaAgriculturaIrigada.pdf>. Acesso em 23 ago. 2020.

BRASIL. Agência Nacional de Águas (ANA). **Uso da água como irrigação**. 2019a. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/noticias-antigas/uso-da-a-gua-na-irrigaassapso-a-c-tema-deacordo.2019-03-14.1447296613>. Acesso em: 21 jun. 2020.

BRASIL. Boletim do Ministério do Desenvolvimento Regional. EMBRAPA. 2019b. Disponível em:

https://www.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSDRU/ArquivosPDF/Boletim_Agricultura-Irrigada_Primeira-Edio_-Setembro-de-2019.pdf. Acesso em: 20 abr. 2020.

BRASIL. EMBRAPA. **Circular Técnica Embrapa**. 1998. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/107339/1/CNPHDOCUMENTOS11-SELECAO-DE-SISTEMAS-DE-IRRIGACAO-PARAHORTALICAS-FL-07821.pdf>. Acesso em: 09 jul. 2020.

BRASIL. **Comunicado Técnico 61**: cálculo da evapotranspiração de referência com base na temperatura do ar. EMBRAPA. 2020a.. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPUV/8145/1/cot061.pdf>. Acesso em 26 ago. 2020.

BRASIL. Instituto Nacional de Meteorologia. **Portal**. 2020b. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em 2 ago. 2020.

COELHO, Eugênio Ferreira *et al.* **Sistemas e Manejo de Irrigação de Baixo Custo para Agricultura Familiar**. Cruz das Almas. EMBRAPA, 2014. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/133043/1/Cartilha-Manejo-Irrigacao-03-09-2015.pdf>. Acesso em: 16 abr. 2020.

MORALES, Luis Roberto Valer. **A utilização de sistemas fotovoltaicos de bombeamento para irrigação em pequenas propriedades rurais**. USP. São Paulo, 2011. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-10112011-105243/publico/DissertValerMorales.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2020.

NOGUEIRA, Cícero H. **Utilização de sistema solar e eólico no bombeamento de água para uso de irrigação**. Santa Maria. UFSM, 2009. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/8119/NOGUEIRA%2c%20CICERO%20URBANETTO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 12 abr. 2020.

OLIVEIRA, Sidnei Borges de. **Estudo preliminar de sistema fotovoltaico de irrigação em pequenas propriedades rurais**. 2020. 38 f. Monografia (Graduação) - Curso de Tecnólogo em Automação Industrial, Universidade Estadual do Rio Grande do Sul - Uergs, Porto Alegre, 2020. Disponível em: <https://repositorio.uergs.edu.br/xmlui/handle/123456789/2362>. Acesso em: 30 jun. 2023.

SCALAMBRINI, H; ARAUJO, K; COSTA NETO, G. **Água do sol**: uso da energia solar fotovoltaica na pequena irrigação de base familiar no semiárido brasileiro. Recife: UFPE, 2006. Disponível em:

http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/87737/Documento_completo.pdf-1=yPDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 15 abr. 2020.

11

ESTUDOS DAS FUNCIONALIDADES DA VIRTUALIZAÇÃO EM PROCESSO DE MANUFATURA INDUSTRIAL

Cristiano Schmidt Da Cruz

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo sintetiza o trabalho de conclusão de curso de Cruz (2021), ao estudar a virtualização de sistemas de manufatura industrial.

De acordo com Rosário (2009, p. 37), o ser humano desde sempre tem usado a sua criatividade para melhorar e modificar o meio ambiente a seu favor, melhorando sua qualidade de vida. Sendo assim, no decorrer do tempo, surgiram novas criações e novos dispositivos, que foram capazes de substituir os processos produtivos artesanais, os quais ofereceram mais agilidade no processo produtivo, bem como reduziram os custos. Nesse cenário, na metade do século XVIII, apareceram as primeiras máquinas, as quais foram responsáveis pela Primeira Revolução Industrial.

Klaus Schwab (2016) explica que a Segunda Revolução Industrial, que teve início no final do século XIX, permitiu produções em grandes quantidades, devido ao surgimento da eletricidade e da linha de montagem. Por sua vez, a Terceira Revolução Industrial, também conhecida como Revolução Digital ou do computador, iniciou na década de 1960, foi promovida pelo avanço tecnológico de sistemas automatizados, que garantem a repetibilidade em seus processos, padronizando a manufatura de produtos.

Para Schwab (2016), atualmente, se está vivendo a Quarta Revolução Industrial, a qual começou na primeira década deste século e tem como base a revolução digital. Essa quarta revolução tem como particularidade uma *internet* global e móvel, sensores cada vez menores e mais potentes, inteligência artificial e aprendizado automático.

O presente estudo pretende abordar as funcionalidades da virtualização em processos industriais, visto que esse assunto se destacou com a chegada da Quarta Revolução Industrial. Essa revolução já vem transformando o mercado de trabalho e o modo como nos comunicamos. Ainda não se sabe o alcance e as mudanças geradas por esse período, mas se conhece sua complexidade e capacidade de globalização.

Diante disso, justifica-se este estudo sobre a virtualização na indústria, visto que ela está cada dia mais presente em nossa sociedade. Além disso, a virtualização pode trazer inúmeras vantagens para o setor industrial, tais como: segurança do processo, diagnósticos rápidos de problemas, custos reduzidos e tempo otimizado.

Ademais, pretende-se verificar, com esta pesquisa, se existe a possibilidade de utilizar ferramentas de virtualização que apresentem resultados satisfatórios e representem menor custo na sua implementação. Para tanto, foi desenvolvido um protótipo funcional, o qual foi analisado em funcionamento em um processo fabril. Em seguida, se faz comparações entre o processo com virtualização e sem a virtualização.

De acordo com Ribeiro (2001, p.13), a automação surgiu da necessidade humana de substituir o trabalho manual pesado, por máquinas. Logo a automação é o controle de processos com o mínimo de interferência humana, com vantagens econômicas e de segurança.

Rosário explica da seguinte forma o conceito de automação: “é todo processo que realiza tarefas e atividades de forma autônoma ou que auxilia o homem em suas tarefas do dia a dia” (Rosário, 2009, p. 23).

Ainda de acordo com Rosário (2009, p. 21), diante da modernização e a competitividade cada vez maior, a empresa que busca evitar sua decadência precisa sempre buscar formas de renovação, viabilizando seu desenvolvimento. Uma das maneiras para que isso ocorra é a atualização tecnológica, a automação.

Diante disso, se percebe que a necessidade de inovar. Automatizar uma empresa é requisito básico para que ela permaneça lucrativa. No entanto, devido a inúmeros fatores, essa automatização ainda é muito limitada em algumas empresas.

Segundo Magalhães e Vendramini (2018, p. 42), a tecnologia digital não é muito difundida na indústria brasileira. Uma pesquisa realizada pela consultoria *PricewaterhouseCoopers (PwC)*, com empresários da área, aponta que, no Brasil, apenas 9% dos entrevistados pensam ter níveis digitais avançados, enquanto no México e na China, a proporção é de 40%. De acordo com um levantamento realizado pela Federação Nacional da Indústria (CNI), no país, buscam-se melhorias graduais e melhorias de

eficiência e produtividade. O potencial tecnológico dificilmente é usado para promover mudanças disruptivas, como o desenvolvimento de novos produtos ou novos modelos de negócios. Há deficiência no conhecimento sobre qual tecnologia é a melhor para cada empresa, bem como o alto custo de implantação e a baixa qualidade da mão de obra, são outros fatores limitantes para a automatização industrial.

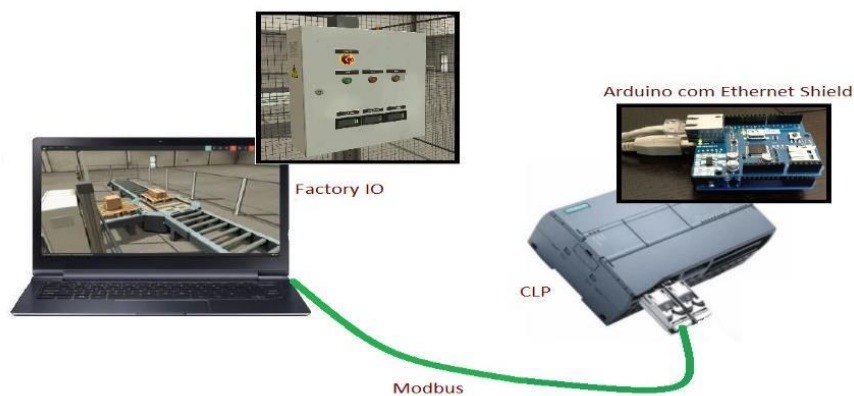
Ainda de acordo com os autores mencionados, mesmo que no Brasil a adoção da tecnologia digital ainda seja lenta, o país ainda tem oportunidades. Para usá-las, o sistema de gestão deve ser alterado. A inovação e a sustentabilidade devem ser integradas a processos como gestão de riscos, desenvolvimento de produtos, gestão de fornecedores e desenvolvimento de pessoal.

Como hipótese, a pergunta que se faz é se o processo de virtualização de manufaturas industriais deve ocorrer por ferramentas digitais altamente dedicadas ou pode haver outros meios para se obter a virtualização de custo reduzido, que apresente resultados satisfatórios?

Uso de modelos virtuais simplificados de manufatura industrial, conectados a microcontroladores ou CLPs (Controladores Lógicos Programáveis) reais garante a análise das funcionalidades de programação e permite análise mais completa da viabilidade de implementar fisicamente a planta de manufatura, com base no seu comportamento virtual.

Segundo Cardoso (2016), se pode chamar esta etapa do processo de virtualização de comissionamento virtual. Na Figura 11.1, pode-se observar como fica a arquitetura da virtualização utilizando um CLP, um computador e os aplicativos em *softwares*.

Figura 11.1 – Arquitetura da virtualização de um processo de manufatura



Fonte: Autor (2021).

Nessa figura, percebe-se o CLP ou microcontrolador, cuja função é gerenciar a lógica do processo de manufatura, conectado ao aplicativo de virtualização do processo, que irá simular os elementos de entrada e saída da planta, bem como a manufatura do produto propriamente dito. Neste caso específico, o aplicativo de simulação virtual é o *Factory IO®*, desenvolvido pela empresa Real Games (2020).

Como objetivo geral do trabalho, a presente pesquisa tem como foco avaliar os benefícios trazidos pela virtualização de um processo produtivo, antes de sua implementação ou de sua modificação, bem como demonstrar, de forma prática, as vantagens deste fundamento da Indústria 4.0.

Os objetivos específicos se apresentam como método para segmentar o objetivo geral, com propósito de manter o foco em cada um de seus estágios. Eles representam o caminho que, uma vez alcançados paulatinamente, levam ao atingimento do objetivo geral. Neste trabalho, os seguintes objetivos específicos são desejados:

- a) pesquisar junto ao estado da arte os conceitos e aplicações de virtualização;
- b) propor uma planta industrial, como um projeto a ser implementado;
- c) virtualizar a planta definida;
- d) interfacear com dispositivo de controle da planta;
- e) programar o dispositivo de controle da planta;
- f) analisar as funcionalidades que a virtualização trouxe a este processo implementado.

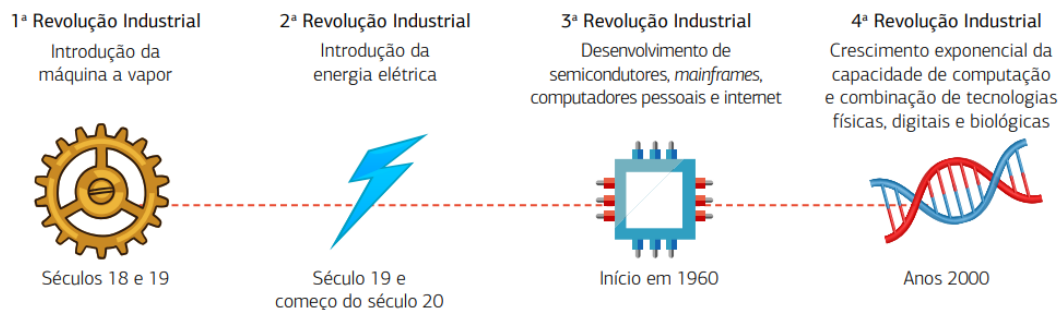
Este trabalho estuda a aplicação de virtualização em sistemas de manufatura gerenciado por CLP ou microcontrolador. Para o melhor entendimento da proposta, é necessário conhecer alguns aspectos tecnológicos referente a equipamentos, componentes e conceitos, tais como a Indústria 4.0, virtualização, microcontroladores Arduino, protocolo de comunicação *MODBUS* e controladores lógicos programáveis.

De acordo com Sacomano e Sátyro (2018), no início da civilização, o ser humano usou sua própria força muscular para trabalhar. E os escravos foram usados, muitas vezes, para tarefas repetitivas e árduas, como mover moinhos, girar remos para mover navios, entre outras. No entanto, com o desenvolvimento da civilização, a tração animal passou a ser utilizada e os animais substituíram parcialmente a energia humana. Mais tarde, as pessoas usaram a energia gerada por elementos naturais, como o vento para acionar os moinhos, as velas de navegação para mover navios e a energia da água para gerar energia hidroelétrica.

Neste contexto, percebe-se a necessidade humana de aperfeiçoar o trabalho, livrando-se de tarefas cansativas e repetitivas. A partir dessa necessidade, as quatro

revoluções industriais foram surgindo, possibilitando o surgimento de máquinas, conforme Figura 11.2.

Figura 11.2 – As quatro revoluções industriais



Fonte: Magalhães e Vendramini (2018, p.41).

Para Schwab (2016, p.?), “Em nossa história, as revoluções têm ocorrido quando novas tecnologias e novas formas de perceber o mundo desencadeiam uma alteração profunda nas estruturas sociais e nos sistemas econômicos”.

Rosário (2019, p. 37) esclarece que a Primeira Revolução Industrial, que também foi denominada de Revolução da Máquina, teve início na Inglaterra, no período entre 1760 e 1850. Essa fase foi caracterizada pela mudança de um processo maioritariamente agrícola de manutenção e produção de bens e consumo, para uma sociedade industrializada, marcada pela introdução de uma máquina simples, substituindo a mecânica, executada pela força muscular humana em atividades repetitivas.

De acordo com Cardoso (2016), visando um lucro maior, alguns proprietários de indústrias procuravam por novas tecnologias e metodologias. A partir disso, a Segunda Revolução Industrial teve início. Para tanto, alguns estudiosos começaram a desenvolver invenções e teorias para aprimorar o conhecimento técnico da época, na busca de reduzir custos e encurtar o tempo de fabricação dos produtos, obtendo maiores lucros.

Nesse período, surgiram as linhas de montagem e uma definição para sistema produtivo. Nessa linha de montagem, o produto percorria diferentes postos de trabalho, em que o trabalhador era responsável pela montagem de uma parte específica do produto. Assim, esse novo processo permitiu a produção em série dos artefatos, aumentando a velocidade de fabricação e garantindo assim aumento significativo dos lucros.

Ainda conforme Cardoso (2016), a Terceira Revolução Industrial começou por volta da metade do século XX, caracterizada por vários avanços tecnológicos. Também

conhecida como a era da informática, a Terceira Revolução Industrial mudou principalmente o desenvolvimento da tecnologia eletrônica, o aparecimento dos computadores pessoais, a entrada de robôs na linha de produção e a flexibilidade do processo de produção. Dessa forma, tarefas que antes eram realizadas apenas por humanos passaram a ser feitas por robôs e outros equipamentos automatizados.

O desenvolvimento da tecnologia eletrônica permitiu que o controlador lógico programável (CLP) assumisse o processo de fabricação, dando uma vantagem à automação. Ao mesmo tempo, as fronteiras que existiam entre as indústrias passaram a não existir e o processo de globalização ganhou espaço.

Segundo Schwab (2016), atualmente, se vive a Quarta Revolução Industrial, a qual se iniciou na virada do século e tem como base a revolução digital. Além disso: “É caracterizada por uma internet mais ubíqua e móvel, por sensores menores e mais poderosos, que se tornaram mais baratos, e pela inteligência artificial e aprendizagem automática” (Schwab, 2016, p.?).

Com o crescente avanço tecnológico mundial, a fim de se manter no mercado, as empresas, atualmente, vêm buscando constantemente oferecer produtos inovadores com qualidade e bons preços, atendendo a funcionalidades exigidas por um mercado mais exigente e digitalmente conectado. Nesse cenário, surgiu a Quarta Revolução Industrial ou a Indústria 4.0, com a finalidade de suprir a demanda de seus clientes.

De acordo com a Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro (FIRJAN, 2016), o termo Indústria 4.0 se espalhou globalmente. Como as três primeiras revoluções da manufatura global, também é chamada de revolução industrial, sendo designada a 4ª revolução da indústria. Além disso, é caracterizada por uma série de mudanças no processo de manufatura, *design*, produtos, operações e sistemas relacionados à produção, aumentando assim a produção e agregando valor ao produto.

A expressão 4.0 é derivada da quarta edição, em que o mundo virtual e o mundo físico se fundem por meio da *Internet*. Em outras palavras, tudo (fornecedores, distribuidores, unidades de manufatura e até produtos) dentro e ao redor da fábrica em operação, está conectado digitalmente, fornecendo uma cadeia de valor altamente integrada.

Os autores do texto “Indústria 4.0: conceito e fundamentos” explicam que:

No caso da indústria, a base existente de informatização automatizada e a visão de negócios voltada à transformação digital faz nascer o conceito de Indústria 4.0, cujo nome veio de um projeto da indústria alemã, denominado *Plattform*

Industrie 4.0 (Plataforma Indústria 4.0), lançado em 2011, na Feira de Hannover. A indústria 4.0 assenta-se na integração de tecnologias de informação e comunicação que permitem alcançar novos patamares de produtividade, flexibilidade, qualidade e gerenciamento, possibilitando a geração de novas estratégias e modelos de negócio para indústria, sendo, por isso, considerada a Quarta Revolução Industrial ou o Quarto Paradigma de Produção Industrial (Sacomano; Sátyro, 2018, p. 28).

Para Almeida (2019), o modelo da Quarta Revolução Industrial, a Indústria 4.0, teve início na Alemanha, em meados de 2012. Inicialmente, foi um plano institucional envolvendo empresas, universidades e governos para atualizar a tecnologia com o objetivo de melhorar a competitividade da indústria e modernizar ainda mais as indústrias locais existentes.

Dessa forma, os sistemas integrados das empresas mudaram para sistemas integrados com armazenamento em nuvens de dados, possibilitando o acesso às informações das máquinas e dos produtos em determinados locais da fábrica, facilitando a produção seriada de muitos itens. Além desse fato extremamente importante, o estoque de matérias-primas e insumos também foi reduzido ao mínimo necessário para a produção dos artefatos comercializados.

Ainda de acordo com o autor mencionado, partindo da Alemanha, o conceito da Indústria 4.0 foi cada vez mais desenvolvido em outros países, regiões e agora se tornou uma tendência comum. Algumas empresas já produziram 100% de seus produtos no modelo de Indústria 4.0 e poucos são os profissionais altamente qualificados.

No trecho a seguir, Sacomano e Sátyro exemplificam como funciona o processo da Indústria 4.0. O início do processo acontece a partir de um pedido *online* realizado pelo cliente. Após as conferências burocráticas e de materiais necessários para a produção, se o pedido for confirmado pelo cliente, inicia a alocação do pedido na linha de produção e as próximas etapas seguem da seguinte maneira:

Na linha de produção, atuadores e sensores vão controlando a linha de produção, ao mesmo tempo em que passam informações sobre o processamento do pedido e/ou dados de máquinas para uma central, que retransmite estas informações pela internet ou intranet para sistemas supervisores, que vão atuando nos equipamentos. A estes sensores e atuadores conectados à internet ou intranet, chamamos de sistemas ciberfísicos, ou em inglês, *Cyber-Physical Systems*, abreviado como CPS, pois conectam a linha de produção, mundo real, aos interessados, via mundo virtual, cibernético ou mecanismos de comunicação e controle de equipamentos. Cada estação de trabalho troca informações com as outras estações de trabalho de forma descentralizada [...]. Chamamos isso de comunicação máquina a máquina ou, em inglês, *machine to machine* (M2M). Nesse sistema, máquinas interagem entre si, seja enviando dados e informações ou mesmo comandos entre elas. Essas máquinas podem interagir com humanos, quando a comunicação máquina a humanos ou, em inglês, *machine to human* (M2H). O pedido é então

produzido, o sistema informa o cliente, emite a documentação necessária para poder embarcar o pedido e solicita à logística o transporte (Sacomano; Sátyro, 2018, p. 30).

A partir do que foi explanado neste capítulo, na Indústria 4.0, interconecta-se todos os sensores, máquinas e sistemas supervisórios por meio de uma rede, possibilitando o fornecimento de informações, em tempo real, para os interessados, por intermédio da *internet* ou *intranet*, de todas as etapas do processo de fornecimento, desde a entrada do pedido, passando pelos processos de produção, até o transporte do produto ao cliente final.

Segundo Almeida (2019), os fundamentos da Indústria 4.0 são: acompanhamento em tempo real, virtualização, análise de dados e *big data*, robótica, simulação, sistemas de integração vertical e horizontal, internet das coisas (IOT), *cibersegurança*, computação em nuvem (*cloud computing*), manufatura aditiva, realidade aumentada, entre outras.

Segundo Sacomano e Sátyro (2018, p.34), “são considerados elementos base para Indústria 4.0 os sistemas *ciberfísicos* (CPS), internet das coisas (IoT) e internet de serviços (IoS)”.

De acordo com os autores supramencionados, o CPS é um sistema eletromecânico composto por sensores e atuadores, controlado por um *software* utilizado para monitorar e controlar processos industriais no campo físico. Essas redes físicas transmitem informações e dados em tempo real e conectam o mundo real ao mundo virtual, para controle.

Almeida (2019) descreve a *internet* das coisas com uma conexão estabelecida entre objetos físicos, ambientes, veículos e máquinas, por meio de dispositivos eletrônicos, para que os dados possam ser coletados e trocados. Sacomano e Sátyro (2019, p.34) explicam que “na IoT emissor e/ou receptor são coisas, ou seja, objetos que utilizam a *internet* como um canal de comunicação”.

Conforme Almeida (2019, p. 35), a expressão *internet* de serviços provém “do inglês, ou abreviadamente IoS. Pela IoS, nossos serviços são disponibilizados por meio da *internet* ou internamente à empresa”.

Neste contexto de Indústria 4.0, a virtualização se apresenta como uma premissa importante. Almeida (2019) explica que, além do conceito existente de simulação computacional do processo de produção ou etapa do produto (na maioria dos casos, pode ser criado em um protótipo por meio da manufatura aditiva (impressão 3D), a Indústria

4.0 também recomenda o monitoramento remoto do processo de produção para evitar possíveis falhas e melhorar a confiabilidade e eficiência do caminho de produção. Por meio da coleta de dados em tempo real, a velocidade da tomada de decisões pode ser melhorada.

Ainda para Almeida (2019), a virtualização tem as seguintes vantagens:

- a) descentralização dos processos de tomada de decisão: para melhorar o nível de produção industrial, os sistemas *ciber-físicos* fazem escolhas com base na análise de dados, sem depender de ações externas, tornando as decisões mais seguras e precisas;
- b) modularidade: neste conceito, o sistema está dividido em módulos, divididos em partes diferentes.

Sendo assim, o equipamento fabril produzirá de acordo com a demanda, pois utiliza apenas os recursos necessários para a realização de cada tarefa, garantindo assim a otimização da produção e economia de energia.

A virtualização trata de tornar virtual os acionamentos e o sensoriamento. A gestão do processo de manufatura ou transporte fica a cargo de controladores. Aqui surge a importância do controlador lógico programável (CLP). De acordo com Gonçalves (2019), o CLP na automação industrial é considerado o “cérebro” da fábrica, porque pode se comunicar e comandar todos os componentes. Pode reconhecer a entrada e compará-la com a lógica do programa instalado na memória e sempre atualizar a saída sem intervenção humana. Sendo um computador muito poderoso que pode suportar as condições adversas da indústria.

Rosário também explica, no trecho a seguir, como foi criado o controlador lógico programável (CLP):

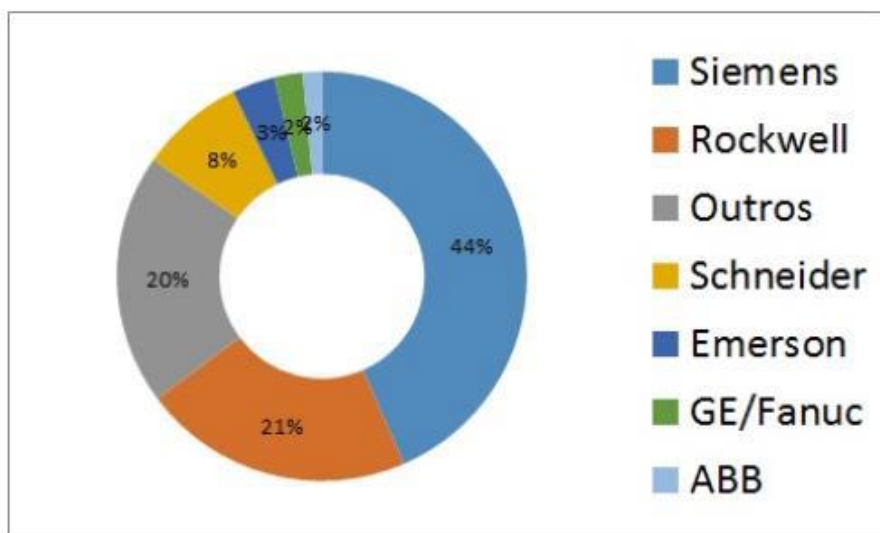
O CLP foi criado, ao final da década de 1970, para substituir sistemas automáticos que utilizavam relés, temporizadores e sequenciadores mecânicos. Foram adotadas inicialmente pela indústria automotiva, pois a atualização anual dos modelos requeria que fosse refeita a fiação dos painéis de controle (a relés). O CLP trazia flexibilidade à automação, pois era necessário apenas carregar um novo programa no controlador. Concebido para processos discretos, o CLP cresceu em funcionalidade ao longo do tempo, passando a incorporar também controle de movimentos, controle de processos, controle distribuído e funcionamento em rede (Rosário, 2009, p.47).

Conforme Rosário (2009), devido às suas grandes capacidades de processamento e de trabalho em tempo real, o CLP tem sido largamente utilizado em campos industriais, idealizados para controlar múltiplas entradas e saídas. Além disso, podem ser usados em ambientes com pouca proteção física e elétrica, pois ele pode suportar uma variedade de

mudanças de temperatura e tem a capacidade de resistir a ruído elétrico, vibração e impacto.

Segundo Barbosa (2018), de acordo com a pesquisa, realizada pela *Murr Elektronik, Segunda Pesquisa de Automação Industrial do Mercado Brasileiro*, a *Siemens* aparece, na pesquisa, liderando como maior fabricante, seguida pelos demais produtores, conforme gráfico na Figura 11.3.

Figura 11.3 - Maiores fabricantes de CLPs.

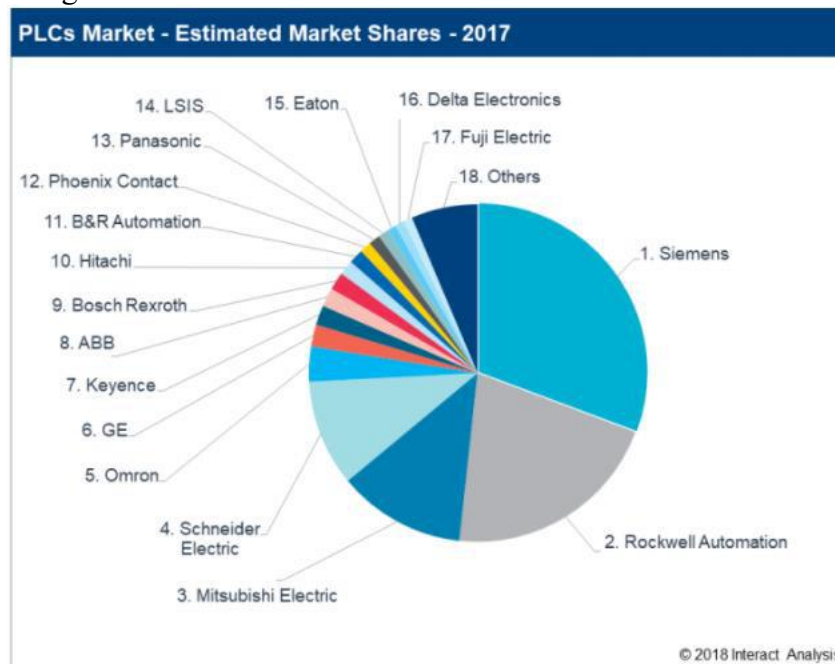


Fonte: Barbosa (2018).

De acordo com *Ladder Logic World (2020)*, devido à competitividade existente na indústria de automação industrial, determinados fabricantes de CLPs surgem, enquanto outros se integram para sobreviver no mercado acirrado.

Na Figura 11.4, apresenta-se a lista dos 17 fabricantes de CLP mais populares no mercado em 2017, segmentada por nível de participação no mercado (Dawson, 2018).

Figura 11.4 – Gráfico com os 17 maiores fabricantes de CLPs



Fonte: Dawson (2018).

De acordo com o gráfico da figura, percebe-se que os líderes do mercado fornecedor de CLPs são: em primeiro lugar, a empresa SIEMENS, fundada na Alemanha no ano de 1847; em segundo lugar, vem a *Rockwell Automation (Allen Bradley)*, fundada nos Estados Unidos no ano de 1903; em terceiro e quartos lugares, aparecem, respectivamente, as organizações *Mitsubishi Electric*, fundada em 1921 no Japão, e a *Schneider Electric* fundada na França no ano de 1836. Por sua vez, no Brasil, há diversos outros fabricantes de CLPs, como a Altus, Weg, BCM.

Todos os controladores lógicos programáveis são regidos pela norma IEC 61.131, para padronização das linguagens de programação. Segundo descrito na norma, as linguagens são:

- a) texto estruturado (*Structural Text*, Sigla ST);
- b) lista de Instruções (*Instruction List*, sigla IL);
- c) linguagem *ladder* (*Ladder Diagram*, sigla LD);
- d) diagrama de blocos funcionais (*Function Block Diagram*, sigla FBD);
- e) sequencial gráfico de função (*Sequential Function Chart*, sigla SFC).

Sobre esse assunto referente às linguagens utilizadas, Ribeiro (2001, p. 42) explica que: “O CLP é frequentemente programado emulando diagramas *ladder* de relés, pois estes diagramas são facilmente entendidos por muitas pessoas não instrumentistas”.

2 METODOLOGIA

Para realização deste estudo, utilizou-se a pesquisa exploratória, ou seja, buscou-se explorar as características do tema em estudo, com a intenção de descobrir ideias e pensamentos relacionados ao problema de pesquisa. Isso foi realizado por meio de uma pesquisa bibliográfica.

De acordo com Cervo, Bervian e Silva (2007, p. 60), a pesquisa bibliográfica objetiva explicar o problema por meio de artigos, livros, dissertações e teses, já publicadas sobre o assunto. Esse tipo de pesquisa pode ser independente ou parte de uma pesquisa experimental.

Sendo assim, este estudo também foi feito por intermédio de uma pesquisa experimental, a qual foi executada em um ambiente de teste de uma automação. Montado através do *software Factory IO*, o ambiente virtual foi controlado por um CLP localizado fisicamente, fora do ambiente virtual. A comunicação entre CLP e ambiente de testes no mundo virtual se deu por meio do protocolo *Modbus TCP/IP*.

A partir disso, testou-se o painel de controle, bem como as funções programadas dentro do CLP. Esse ambiente de testes será deixado como legado para UERGS, a fim de que possa ser utilizado no ensino de componentes curriculares, como CLP.

A pesquisa tem um caráter experimental, visto que pretende montar, observar e analisar o objeto de estudo. Cervo, Bervian e Silva (2007, p. 63) explicam que, neste tipo de pesquisa, para alcançar os resultados esperados, o pesquisador precisa manipular os aparelhos e instrumentos disponíveis, a fim de tornar percebíveis às relações presentes entre as variáveis existentes, compreendidas no objeto de estudo.

Esta pesquisa abrange a área de projetos de automação de processos de manufatura, bem como fabricação de máquinas e equipamentos. Para tanto, foi utilizado e testado apenas um *software*, o *Factory IO*, levando-se em consideração que, em pesquisa realizada em *sites* de diversos fabricantes mundiais, tem-se diversos *softwares* que poderiam ser usados, a fim de viabilizar a virtualização de fábrica e/ou processos produtivos como: o *Tecnomatix Plant Simulation*, fornecido pela empresa *Siemens*; o *FlexSim*, fornecido pela empresa *FlexSim Software Products*; o *Factory Design Utilities*, fornecido pela *Autodesk*, entre outros.

O estudo de virtualização é uma área quem vem ganhando espaço, com o advento da Indústria 4.0, e vem se tornando cada vez mais tangível para empresas de grande e

médio porte que visam redução de custos operacionais, melhorias na cadeia produtiva e, conseqüentemente, maior lucratividade.

Neste estudo, utilizou-se o método científico, a fim de refutar ou ratificar as hipóteses levantadas. Além disso, usou-se a técnica da observação sobre o experimento, a fim de obter dele um conhecimento preciso.

Dessa forma, criou-se com o auxílio do *software Factory IO* dentro do ambiente virtual, durante o mês de dezembro de 2020, uma linha de produção com duas esteiras. Nessa linha, uma esteira deveria receber caixas com dimensões diferentes. Sendo assim, este ambiente simulava a separação de itens de acordo com o dimensional em um processo logístico. Na esteira principal, existiam quatro sensores capazes de detectar a passagem de objetos. O primeiro sensor detectava quando uma caixa era posicionada na esteira, dando início ao processo. O segundo sensor detectava caixas maiores, as caixas menores passavam sem serem detectadas pelo sensor. Ao final de cada esteira, existia um sensor que identificava a quantidade de caixas detectadas por ele. Dessa forma, esses sensores enviavam as informações verificadas, no ambiente virtual, para o *CLP*, que estava fisicamente em ambiente real, comunicando-se por meio do protocolo *MODBUS*, o qual processava as informações e acionava um separador pneumático, que, por sua vez, expedia as peças de maior altura para sua devida esteira, na qual as peças eram contadas e direcionadas para o próximo processo. O ambiente aqui descrito pode ser observado na Figura 11.5.

Figura 11.5 - Ambiente Proposto como manufatura virtual



Fonte: Autor (2021).

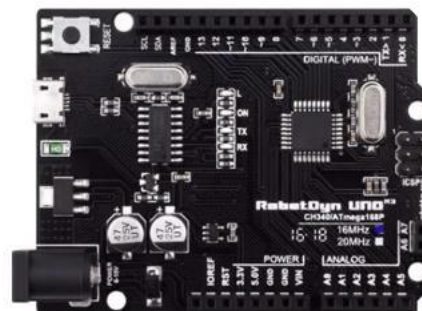
Devido ao alto custo e a não disponibilidade de um CLP real, este foi substituído e simulado por uma placa de prototipagem *Arduino*. A Figura 11.6 apresenta os dois componentes, com propósito de equivalência nesta atividade de virtualização.

Figura 11.6 - Controlador lógico programável e microcontrolador Arduino



a) CLP Siemens S7

Fonte: Autor (2021).



b) Microcontrolador Arduino UNO

Os elementos de entrada da planta de manufatura (botoeiras e sensores) foram montados dentro do aplicativo de *software* de virtualização e endereçados para o *Arduino* por meio do protocolo *MODBUS*, e os atuadores (motores das esteiras e o acionador pneumático) também foram endereçados para o *Arduino*.

Dessa forma, o microcontrolador comandava todo o funcionamento do ambiente virtual, como se a máquina estivesse montada fisicamente, permitindo, assim, o *startup*¹⁹ da parte de programação, antes mesmo de se montar qualquer componente mecânico ou quadro elétrico, reduzindo a possibilidade de erros e revisões de projeto.

3 RESULTADOS E ANÁLISE

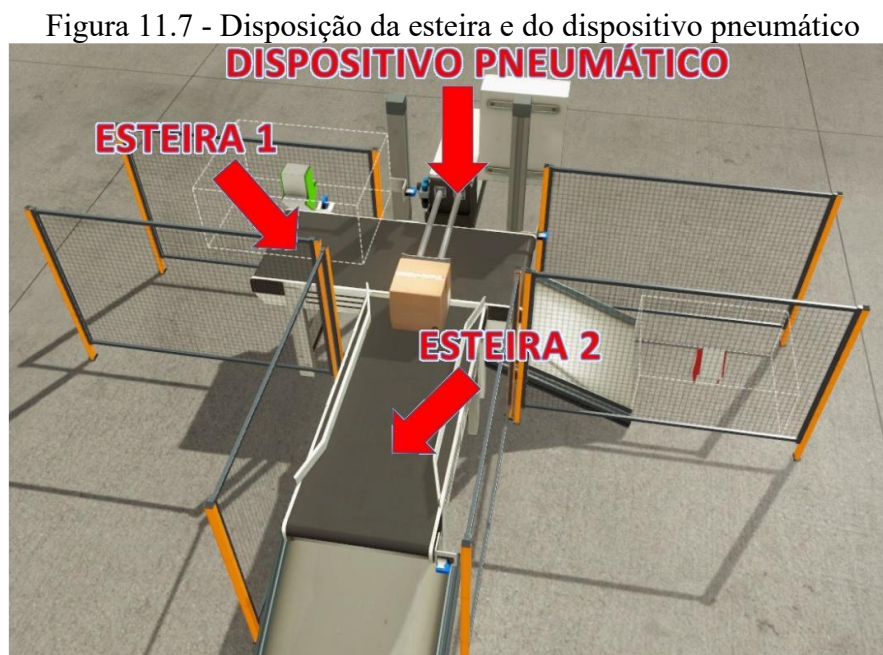
Este capítulo apresenta os resultados obtidos no projeto, sendo que, inicialmente, são apresentadas as funcionalidades da planta proposta e, ao final, as vantagens da implementação da virtualização em relação à implementação física.

A programação do microcontrolador *Atmel AVR*, presente na placa de prototipagem, se deu por intermédio da plataforma *IDE* do *Arduino* em linguagem *Wiring*, similar ao *C/C++*. Caso estivesse disponível para a simulação um CLP, a

¹⁹ *Startup*: colocação em marcha de uma máquina ou equipamento, verificando todas as funcionalidades previstas e aferindo o comportamento em condições de erro de funcionamento e operação.

linguagem utilizada poderia ser uma das cinco descritas na norma IEC 61131 que são: texto estruturado, lista de instruções, linguagem *ladder*, diagrama de blocos e diagrama de fluxo.

Para a virtualização da planta proposta, utilizou-se como atuadores duas esteiras transportadoras e um dispositivo contendo dois cilindros de acionamento pneumático, como pode ser observado na Figura 11.7.



Fonte: Autor (2021).

No sensoriamento, foram utilizados quatro sensores difusos, denominados, neste estudo de S1, S2, S3 e S4. O primeiro sensor S1 tem a função de detectar a caixa na esteira de número um e iniciar o processo de seleção de caixas altas ou baixas. Por sua vez, S3 deve detectar as caixas altas e, a partir disso, acionar o dispositivo separador, bem como ligar a esteira dois, a qual direcionará as caixas altas para a próxima etapa do processo. Em seguida, o sensor S4 constata as caixas altas vindas da esteira dois, bem como a desliga quando não há produtos para que ela o transporte. No que lhe diz respeito, o S2 é utilizado para captar a saída das caixas baixas da esteira um e informar a quantidade de caixas que passaram por ele para o CLP/Microcontrolador. O posicionamento dos quatro sensores e o destino das caixas pode ser observado na Figura 11.8.

Figura 11.8 - Disposição dos sensores na planta virtualizada e componentes no quadro de comando virtual



Fonte: Autor (2021).

Nesta mesma figura, há o quadro elétrico disposto dentro do ambiente virtual. Nele fora instalado quatro botoeiras e dois contadores digitais. A botoeira de *Start*, na cor verde, disposta na parte superior esquerda, liga o equipamento. A botoeira amarela, disposta no centro na parte superior do painel, tem a função *Reset*, a qual zera ambos os contadores. A botoeira vermelha de *Stop*, disposta no canto superior direito, tem a função de desligar a planta de forma normal. Já a botoeira vermelha de emergência, disposta na parte central inferior, serve para desligar a planta no caso de um eventual incidente.

O funcionamento do equipamento separador de caixas é habilitado assim que a tecla verde *Start* é acionada, já o processo de separação inicia assim que uma caixa é detectada pelo sensor S1 no começo da esteira.

A caixa percorre a esteira, passando pelo sensor S3, disposto na altura pré-determinada para as caixas de maior altura. Se o sensor S3 não detectar caixa alta, ela segue até o próximo processo ainda na esteira um e, ao passar no sensor S2, localizado no final da esteira um, é contabilizada uma caixa pequena no painel de controle. Caso a caixa disponibilizada na esteira seja alta, ela é identificada pelo sensor S3, o qual aciona a esteira dois e o dispositivo pneumático (cilindro) que desloca a caixa para esteira dois.

Ao final da esteira dois, há um sensor que percebe a presença de caixas altas no momento que elas passam para o próximo processo e as disponibiliza para contagem, por meio do sensor S4, contabilizando-as no painel no contador de caixas grandes.

Após a planta ter sido criada em ambiente virtual, bem como o CLP/microcontrolador ter sido devidamente programado para o presente estudo, foi realizado um teste da virtualização, em que a simulação ficou rodando das 8 horas às 20 horas de um dia, contabilizando doze horas consecutivas, demonstrando pleno funcionamento, sem evidências de falhas.

Comparando a execução deste projeto com e sem a utilização das funcionalidades de virtualização, compõe-se a Tabela 11.1, que traz esta análise comparativa.

Tabela 11.1 – Comparação entre o projeto com e sem virtualização

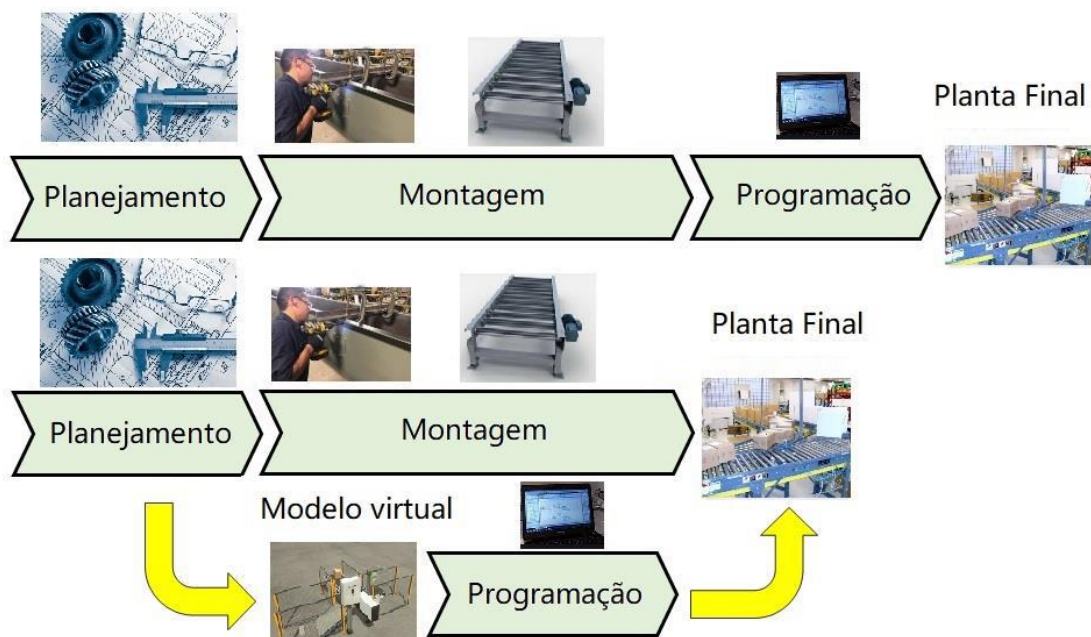
Especificações	Sem virtualização	Com virtualização
Necessidade de aquisição de componentes	CLP, fonte, painel elétrico e todos seus componentes internos, motores, sensores, mecânica das esteiras, lona das esteiras, rolamentos, computador com software de programação do CLP e cabo de rede (todos itens de projeto)	CLP, fonte, computador com software para virtualização e software de programação do CLP e cabo de rede.
Tempo destinado a programação do controlador.	20% do tempo total de projeto	20% do tempo total do projeto
Necessidade de modificação no projeto	Grande probabilidade	Probabilidade média
Custo de alteração	Alto, impactando significativamente no prazo das alterações	Baixo, apenas alteração reprogramação do ambiente virtual
Custo do para se obter o primeiro resultado	Custo total do projeto	Uma fração do projeto
Capacitação da mão de obra	Necessita do equipamento montado para poder treinar os operadores	Possível treinar os operadores antes de ter o equipamento fisicamente montado
Qualificação da mão de obra	Necessário ter o equipamento montado e parar a produção para poder fazer qualificação	Possível com o uso do simulador demonstrar todas os aperfeiçoamentos sem parada de produção e inclusive treinamento de forma remota.
Validação de projeto	Necessário de todo projeto montado	Possível a validação antes de toda a montagem física e com pouco investimento.

Fonte: Autor (2021).

Na comparação da forma convencional de projeto de automação de uma planta, em que antes da programação era necessário criar todo o projeto, executar a aquisição e montagem da planta física e como última etapa fazer a programação e ajustes do CLP/Microcontrolador, com o conceito proposto pelos preceitos da Quarta Revolução Industrial, demonstrada neste trabalho, contemplando a virtualização, mostrou-se efetivo os ganhos no *Lead Time* (tempo de atravessamento) de um desenvolvimento de automação, mesmo que para isso se tenha que acrescentar uma etapa de modelagem virtual da planta.

Neste novo conceito, a programação e os muitos ajustes podem ser realizados em ambiente simulado, em paralelo com a montagem real, conforme demonstrado na Figura 11.9.

Figura 11.9 – Comparação da metodologia tradicional de projeto e a metodologia Proposta



Fonte: Autor (2021).

Se pode observar na figura anterior que utilizando o preceito da Indústria 4.0 pode trazer um grande benefício, tanto em tempo, como em custo final de projeto. Reduzindo também os riscos de erros, mesmo que para isso seja necessário criar uma etapa de virtualização, que antes não existia.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A virtualização demonstrou-se totalmente viável, permitindo toda a programação e ajustes do programa do CLP/ Microcontrolador de forma efetiva, propiciando visualizar todos os processos acontecendo em tempo real, mesmo não se tendo dispensado nenhum valor na aquisição nos atuadores e sensores, nem mesmo mão de obra para montagem de nenhum componente, além do CLP/Microcontrolador e de sua fonte de alimentação, demonstrando a sua total efetividade, de forma que o processo de programação que em uma sequência antes entendida como convencional, sem os conceitos da indústria 4.0, poderia ocorrer apenas ao final de todo o projeto elétrico e mecânico e seus ajustes só seriam iniciados durante o seu comissionamento real.

Como limitações, foram encontrados uma diversidade limitada de componentes dentro do *software* Factory IO modulo SIEMENS, o qual não permite acrescentar ou criar modelos de forma livre, para ter a maior fidelidade possível da planta desejada. Porém permite fazermos a simulação com componentes pré-existentes. Alguns similares aos desejados, outros nem tanto.

Como possibilidades para o futuro, poderá ser realizada esta etapa utilizando um sistema ciber-físico mais flexível, com possibilidades de virtualização.

Os conhecimentos necessários para efetivar este estudo relacionados ao curso de Tecnologia em Automação Industrial foram: microcontroladores, programação em C/C++, para programação do Arduino; eletrônica digital, para interpretação de sinais digitais; redes industriais de comunicação, para a compreensão e utilização do protocolo Modbus TCP/IP; Controladores Lógicos Programáveis para correlacionar as funcionalidades do Arduino com as do CLP; Circuitos Elétricos para o entendimento e da montagem dos módulos eletrônicos utilizados; Pneumática para entendimento do atuador utilizado; Processos Industriais para implementar a sequência do processo virtualizado, entre outras intrínsecas a este processo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Paulo Samuel de. **Indústria 4.0: princípios básicos, aplicabilidade e implantação na área industrial.** São Paulo: Érica, 2019. *E-book*.

BARBOSA, Marcelo. **Conheça os maiores Fabricantes de CLPs!** 2018. Disponível em: <http://blog.murrelektronik.com.br/fabricantes-declps/#:~:text=A%20Siemens%20lidera%20a%20a%20pesquisa,e%20ABB%20tamb%C3%A9m%20est%C3%A3o%20baixos>. Acesso em: 17 dez. 2020.

CARDOSO, Renan Coradine Moliga. **Caminhos da manufatura: uma abordagem à manufatura digital.** São Paulo: Amazon, 2016. E-book.

CERVO, Amado Luiz; BERVIAN, Pedro Alcino; DA SILVA, Roberto. **Metodologia Científica.** 6. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.

CRUZ, Cristiano Schmidt da. **Estudos das funcionalidades da virtualização em processo de manufatura industrial.** 2021. 42 f. Monografia (Graduação) - Curso de Tecnólogo em Automação Industrial, Universidade Estadual do Rio Grande do Sul - Uergs, Porto Alegre, 2021. Disponível em:

<https://repositorio.uergs.edu.br/xmlui/handle/123456789/1930>. Acesso em: 30 jun. 2023.

DAWSON, Tim. **Who Were the Leading Vendors of Industrial Controls in 2017?** 2018. Disponível em: <https://www.interactanalysis.com/who-were-the-leadingvendors-of-industrial-controls-plcs-and-dcs-in-2017/>. Acesso em: 17 dez. 2020.

FIRJAN. **Panorama da Inovação: indústria 4.0.** Indústria 4.0. 2016. Disponível em: <https://www.firjan.com.br/publicacoes/publicacoes-de-inovacao/industria-4-0-1.htm>. Acesso em: 17 dez. 2020.

GONÇALVES, Matheus Rocha. **Controle de nível de planta didática usando controlador lógico programável.** 2019. 39 f. Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia de Controle e Automação, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2019. Disponível em: <http://www.monografias.ufop.br/handle/35400000/2384>. Acesso em: 21 out. 2020.

LADDER LOGIC WORLD. **PLC Basics.** Disponível em: <https://ladderlogicworld.com/programmable-logic-controller-plc-basics/>. Acesso em: 18 dez. 2020.

MAGALHÃES, R; VENDRAMINI, A. Os impactos da quarta Revolução Industrial. **GVExecutivo**, v. 17, n. 1, 2018. Disponível em: <http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/gvexecutivo/article/viewFile/74093/71080>. Acesso em: 14 dez. 2020.

RIBEIRO, Marco Antônio. **Automação Industrial.** 4. ed. Salvador, Ba: Tek Treinamento & Consultoria Ltda, 2001.

REAL GAMES. **Company.** Disponível em: <https://realgames.co/company/>. Acesso em: 21 nov. 2020.

ROSÁRIO, J. M. **Automação industrial.** São Paulo: Baraúna, 2009.

SACOMANO, José Benedito; SÁTYRO, Walter Cardoso. Indústria 4.0: conceitos e elementos formadores. *In: SACOMANO, José Benedito et al, (org.). Indústria 4.0: conceitos e fundamentos.* São Paulo: Blucher, 2018. cap. 2. *E-book*.

SCHWAB, Klaus. **A quarta revolução industrial.** São Paulo: Edipro, 2016.

12

ESTUDO DE VIABILIDADE DE OTIMIZAÇÃO DE SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA: AUTOMAÇÃO DE LUMINÁRIAS

Daniel Altenhofer Linck

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo sintetiza o trabalho de conclusão de curso de Linck (2021), ao estudar métodos para otimizar o comando de sistemas de iluminação pública, visando a redução de consumo.

Os avanços tecnológicos se inserem nas mais diversas áreas do conhecimento e, conseqüentemente, no cotidiano do ser humano. A iluminação pública sempre acompanhou a evolução tecnológica, desde a capacidade de controlar o fogo, com tochas ou combustíveis líquidos ou gasosos, até o conjunto de miniodios emissores de luz alinhados sobre uma placa, conhecido como refletor de LED (sigla em inglês para Diodo Emissor de Luz) que se observa hoje nos postes de iluminação pública mais modernos.

A possibilidade de iluminação noturna sempre fascinou a humanidade, seja por necessidade, por segurança ou por conforto. Porém, essa luz sempre teve um custo. A tecnologia busca constantemente a redução desse custo e o aumento da capacidade de iluminação. Entretanto, os avanços tecnológicos não se resumem a lâmpadas. É possível melhorar a tecnologia de acionamento das lâmpadas e os sensores que captam informações para determinar se a lâmpada deve estar ligada ou desligada.

Partindo do pressuposto que a iluminação pública serve aos moradores das cidades, quando não há um cidadão na rua, não há por que a lâmpada estar ligada, afinal a luz iluminaria o que ninguém vê. Porém, com as lâmpadas de vapor de sódio, atualmente a mais utilizada do Brasil (Pinto, 2015), não é possível desligar a lâmpada quando não há ninguém na rua e ligá-la novamente quando um carro ou pedestre se aproximar, porque as lâmpadas desse tipo precisam de um tempo para religar, ou seja, depois que são desligadas, demoram alguns minutos para ligar novamente.

Assim, os pontos de iluminação de uma cidade são acionados por um dispositivo fotossensível, em que quando há luminosidade, o dispositivo não permite a passagem de corrente elétrica para a lâmpada. Já à noite, no escuro, a eletricidade é liberada para chegar até a lâmpada, gerando iluminação. Com isso, as luzes dos postes ficam ligadas, em média, 12h por dia, consumindo cerca de 400W por hora de energia elétrica. Mesmo às 4h da madrugada de uma noite de inverno chuvosa, quando não há ninguém na rua, ela permanece ligada.

Segundo informações divulgadas pelo governo federal e apuradas pelo jornal Zero Hora, de Porto Alegre, há cerca de 18 milhões de pontos de luz no Brasil, o que representa cerca de 4% da energia elétrica do país (Rodrigues, 2020). Já o consumo residencial representa 25% (CBIE, 2020). Ainda de acordo com a matéria do jornal, em diversos municípios, a conta de luz é o segundo maior gasto da prefeitura, perdendo apenas para a folha de pagamento.

Na cidade de Porto Alegre, em 2018, a prefeitura desembolsou R\$ 37,7 milhões com iluminação pública, sendo R\$ 9,7 milhões em contratos e compra de equipamentos e R\$ 28 milhões em contas de luz, apenas da iluminação pública, ruas, praças e monumentos, não incluindo prédios públicos (Farina, 2020).

As atuais lâmpadas de LED são até 50% mais econômicas e a qualidade da iluminação é superior à das lâmpadas de vapor de sódio (Aguera, 2015). Além de ser possível controlar sua intensidade luminosa e de não ser preciso aguardar o tempo de religamento, ou seja, a lâmpada pode ser desligada e ligada novamente, sem que haja um período de espera.

Em outras palavras, lâmpadas de LED são mais controláveis do que lâmpadas de vapor metálico, e isso abre novas possibilidades tecnológicas. No lugar do relé fotocontrolador, é possível ter um microcontrolador que se serve de sensores como: de presença, de luminosidade e até mesmo de comunicação, para determinar quando e em qual intensidade a lâmpada deve ser ligada, reduzindo, assim, o consumo de energia elétrica. É essa controlabilidade que o presente trabalho pretende explorar.

Diversas prefeituras do país estão fazendo contratos para substituir as lâmpadas de vapor por lâmpadas com tecnologias mais modernas, de LED (Caxias Do Sul, 2020; Martins, 2020; Porto Alegre, 2020). É possível modernizar também o sistema de acionamento e controle da lâmpada.

Mas a otimização do acionamento, ou seja, controlar a forma (intensidade) e o momento que as lâmpadas são ligadas (comando) pode fazer diferença significativa no consumo de energia elétrica de uma cidade?

Para isso, será necessário estabelecer em quais momentos a lâmpada pode diminuir sua intensidade ou até mesmo desligar, quais e quantos sensores serão necessários para fazer com que o microcontrolador tenha informações necessárias e confiáveis para controlar a luminária, visando a economia de energia sem prejudicar a iluminação das vias quando houver trânsito, seja de pedestres, ciclistas ou automóveis.

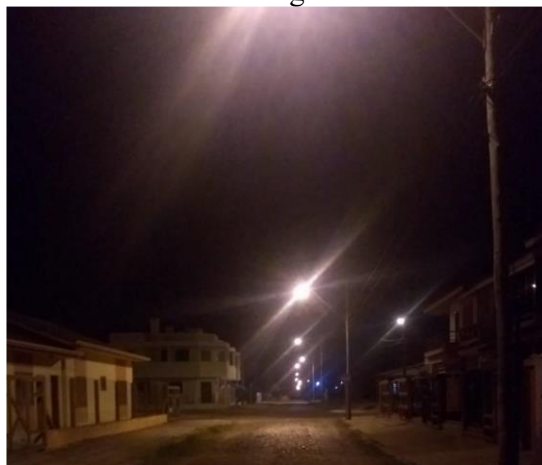
Para tentar mensurar a quantidade de energia que pode ser economizada com a otimização do controle de acionamento da iluminação de postes públicos, serão montados dois dispositivos distintos. O primeiro será um microcontrolador alimentado com informações de um sensor de luminosidade (fotorresistivo) e um sensor de presença. As informações serão colhidas em dois pontos distintos na cidade de Xangri-lá – RS.

As informações do fluxo de pedestres e veículos serão inseridas em um segundo microcontrolador que fará o controle de minipostes de LED, distribuídos em uma maquete. Além de utilizar os dados coletados, também será possível simular diferentes situações do cotidiano de uma cidade. Com isso torna-se exequível a medição do consumo de energia elétrica em cada miniposte, nas diferentes situações testadas.

A otimização das luminárias públicas pode ir além, com a economia gerada pela redução do consumo de energia elétrica. É possível investir em novas funcionalidades para os postes. Apenas incorporando outros dispositivos ao microcontrolador, se pode coletar informações meteorológicas ou disponibilizar sinal de *wi-fi*, por exemplo, trazendo benefícios para toda sociedade, afinal o poste de luz é o elemento mais democrático, pois ele está presente em todos os cantos do país.

A Figura 12.1 torna o problema do presente trabalho visível. É possível ver a luz de onze lâmpadas que ficam, em média, ligadas 12 horas por dia, iluminando a vida de apenas duas famílias, apesar dessa rua ter apenas um terreno baldio, as demais casas são de veraneio, ou seja, ficam ocupadas cerca de 2 ou 3 meses por ano, entretanto as lâmpadas trabalham 365 noites por ano.

Figura 12.1 – Lâmpadas iluminando ruas desertas na cidade de Xangri-lá, durante a madrugada



Fonte: Autor (2021).

Posto isso, o presente trabalho tem o objetivo de esclarecer se a otimização do sistema de controle de iluminação pública pode gerar diferença significativa no consumo de energia elétrica, sem prejuízo do objetivo primário das lâmpadas: iluminar a cidade quando necessário. Diversas cidades, como Xangri-lá, poderiam se beneficiar de um sistema de iluminação pública mais inteligente.

Para que o objetivo seja alcançado, serão realizadas ações específicas, de forma a se complementarem e evidenciarem o objetivo geral. São elas:

- a) pesquisar sobre os meios de otimização de energia em iluminação pública;
- b) identificar o comportamento de veículos e pedestres no período noturno, em uma via pública específica;
- c) implementar um sistema de iluminação em escala reduzida, para simular o controle e o acionamento da iluminação;
- d) monitorar o consumo de energia no protótipo em escala, com comportamento tradicional e com otimização segundo existência de pedestres ou veículos;
- e) comparar os resultados, verificando o grau de economia.

Um componente elétrico utilizado atualmente para executar a iluminação pública são as lâmpadas a base de LED (*Light Emmitter Diode* – diodo emissor de luz). Antes de entender como funcionam as lâmpadas de LED, é importante compreender o funcionamento de suas predecessoras na iluminação pública, as lâmpadas de vapor de mercúrio, vapor de sódio e as incandescentes. Porém, a iluminação pública não se restringe a lâmpadas. Antes mesmo de sua invenção, os lampiões eram responsáveis pela

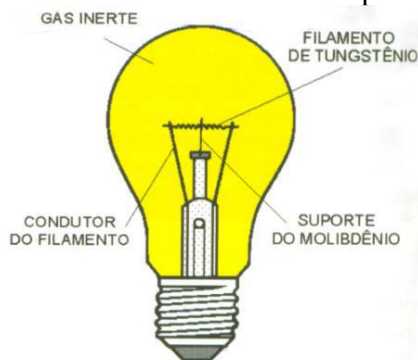
iluminação das vias na Europa no século XV. No Brasil, a cidade do Rio de Janeiro foi responsável pela instalação do primeiro sistema de iluminação pública em 1794, utilizando lampiões com combustível a base de azeite (Aguera, 2015).

Foi apenas em 1879 que a energia elétrica começou a ser utilizada em larga escala, para acionar lâmpadas incandescentes em Nova Iorque, nos Estados Unidos da América. No mesmo ano, a Estação da Corte da Estrada de Ferro Central do Brasil, no Rio de Janeiro, recebeu o primeiro sistema de iluminação elétrica do país, graças à parceria entre Dom Pedro II e a empresa Edison Electric Light Co., cujo dono era o criador da lâmpada incandescente, Thomas Alva Edson (Aguera, 2015).

Lâmpadas incandescentes funcionam de acordo com o princípio da resistência elétrica, que é quando a corrente elétrica é forçada a passar por um fio muito fino. Essa dificuldade apresentada à eletricidade gera calor, tanto que deixa esse pequeno pedaço de fio incandescente, emitindo uma luz branca de tom levemente amarelado (Lima, 2016). Entretanto o calor é tão grande que acaba derretendo o fio. O desavio de Thomas Edson foi desenvolver um filamento que aguentasse altas temperaturas sem se romper.

Em 1879, Edson e seus cientistas, após testarem cerca de seis mil materiais, conseguiram fazer uma linha de algodão carbonizada ficar acesa por mais de 40 horas (Lima, 2016). Atualmente as lâmpadas incandescentes utilizam tungstênio no filamento e a atmosfera dentro do bulbo de vidro é livre de oxigênio e preenchida com argônio, o que evita que o filamento entre em combustão (Lima, 2016). Mas ainda assim sua eficiência é de 5%, ou seja, 95% da energia elétrica consumida pela lâmpada é convertida em calor e não em luz, o que faz com que a lâmpada incandescente seja a menos eficiente (Waide, 2010). A Figura 12.2 apresenta o princípio de funcionamento de uma lâmpada incandescente.

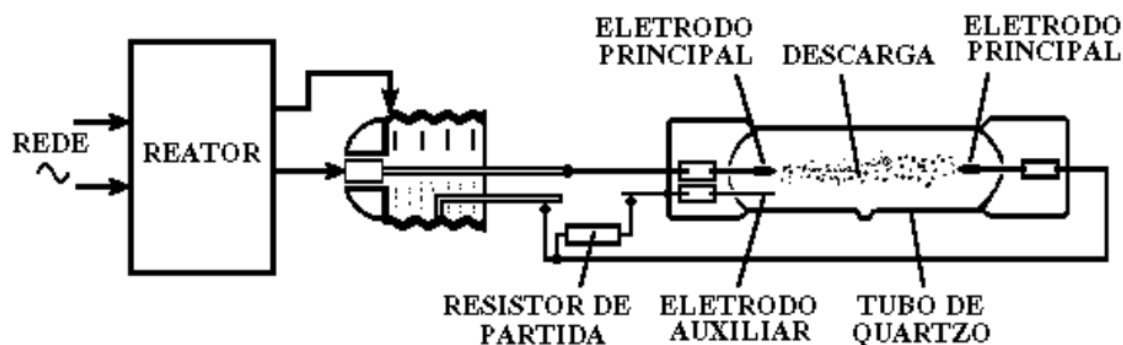
Figura 12.2 – Funcionamento de uma lâmpada incandescente



Fonte: Qualidade online (2011).

Nikola Tesla foi o responsável pela criação da lâmpada fluorescente em 1895 (Ministério Da Cidadania, 2020). Seu funcionamento se dá, em termos simplificados, pela passagem de corrente elétrica através de um gás, gerando a ionização desse gás e consequentemente produzindo a luz visível (SuperInteressante, 2011). Posteriormente, surgiram outros tipos de lâmpada com base no mesmo funcionamento: as lâmpadas de descarga e lâmpadas de vapor de sódio ou mercúrio. Para isso é necessário um tubo de vidro (tubo de descarga) contendo neônio, xenônio, hélio, criptônio ou, no caso das lâmpadas fluorescentes, argônio. Já as lâmpadas de vapor contêm vapor de mercúrio ou de sódio dentro do tubo que pode estar sob alta ou baixa pressão. Em cada extremidade do vidro há um eletrodo, ligado a um reator que eleva e estabiliza a tensão da rede elétrica, ajudando a criar um arco elétrico dentro do tubo de descarga, como pode ser visualizado na Figura 12.3.

Figura 12.3 – Funcionamento de uma lâmpada de vapor de mercúrio



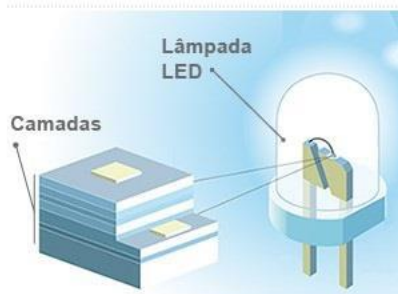
Fonte: Waymouth (1980).

Em 1963 Nick Holonyac criava o primeiro LED, porém por emitir pouca luz, não servia para iluminar, além de existir apenas na cor vermelha, sendo utilizado apenas em aparelhos eletrônicos para indicar se estavam ligados ou não. Entretanto, seu princípio de funcionamento é o mesmo dos potentes LEDs modernos, que são semicondutores que emitem luz em resposta à passagem de corrente elétrica (Reis, 2019). Apenas nos anos 1990, depois de 30 anos de pesquisa, Hirohi Amano, Shuji Nakamura e Isamu Akasaki conseguiram desenvolver o LED de cor azul e, consequentemente através de filtros, cor branca, como pode ser visto na Figura 12.4. Em 2014 os três pesquisadores ganharam o prêmio Nobel de física pela descoberta, o que possibilitou uma revolução no sistema de iluminação (G1, 2014).

Figura 12.4 – Funcionamento da lâmpada de LED de cor branca

NOBEL DE FÍSICA 2014

Trio de cientistas inventou lâmpada LED
que emite luz azul



Akasaki, Amano e Nakamura descobriram como associar nitreto de gálio com os elementos índio e alumínio numa estrutura em camadas, criando uma lâmpada eficiente.

Fonte: Adaptado de G1 (2014).

As lâmpadas de LED, além de serem mais eficientes que as demais, não possuem metais ou gases poluentes e tóxicos. Outra vantagem é que o feixe de luz não contém raios infravermelhos, ou seja, não emite uma onda de luz invisível ao olho humano e que gera calor. Lâmpadas de LED não precisam de altas e constantes tensões, ao contrário, elas funcionam em uma ampla faixa de tensão, reduzindo seu brilho caso recebam tensões abaixo do seu valor nominal, além de ter a maior vida útil entre todos os tipos de lâmpada (Lima, 2018).

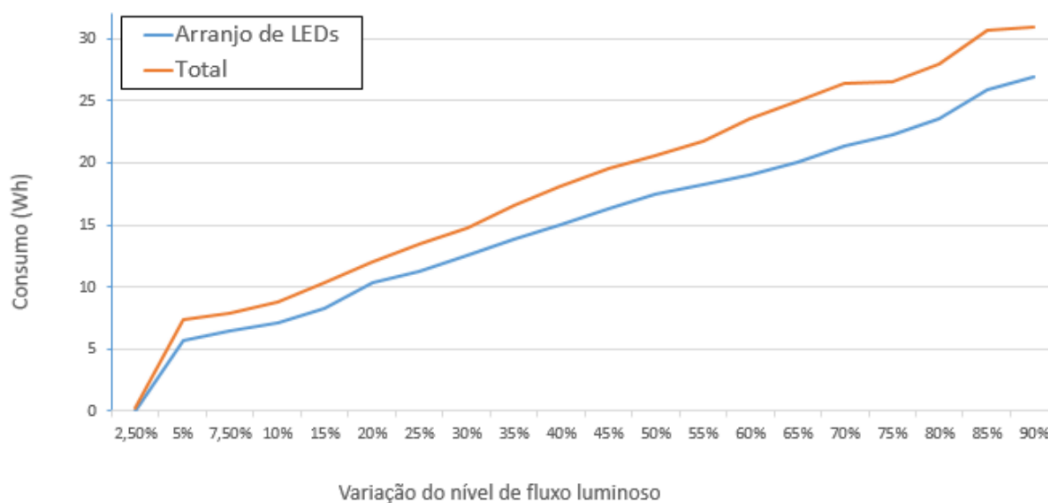
De acordo com Dallabrida, Gonçalves e Piovesan (2015), a lâmpada incandescente emite 742,85% mais calor do que a lâmpada de LED, além de a lâmpada de LED ter a maior vida útil entre as lâmpadas apresentadas, com cerca de 30.000 horas de trabalho, enquanto a fluorescente e a incandescente ficam com 6.000 e 1.000 horas, respectivamente. Sua eficiência também é a mais alta, 88%.

A fundamentação teórica da presente pesquisa se apoia na dissertação de mestrado da Pinto (2015), da Universidade Federal de Juiz de Fora, que propõe um sistema de monitoramento, gerenciamento e controle da iluminação pública, além de analisar os parâmetros da rede elétrica. Por ser uma pesquisa muito extensa, serão utilizados apenas os dados referentes ao consumo e à eficiência do sistema de iluminação com lâmpadas de LED. A parte de supervisor não abrange o presente trabalho.

De acordo com Pinto (2015), o consumo de energia elétrica de uma lâmpada de LED é diretamente proporcional com a variação da intensidade luminosa, ou seja, a relação potência e luminosidade é linear. É possível controlar a potência da lâmpada

alterando a tensão de entrada, quanto maior a tensão aplicada na lâmpada maior será o seu brilho. Essa relação entre consumo de energia elétrica (em Wh) e o nível de fluxo luminoso pode ser mais bem visualizada na Figura 12.5, elaborada por Pinto (2015).

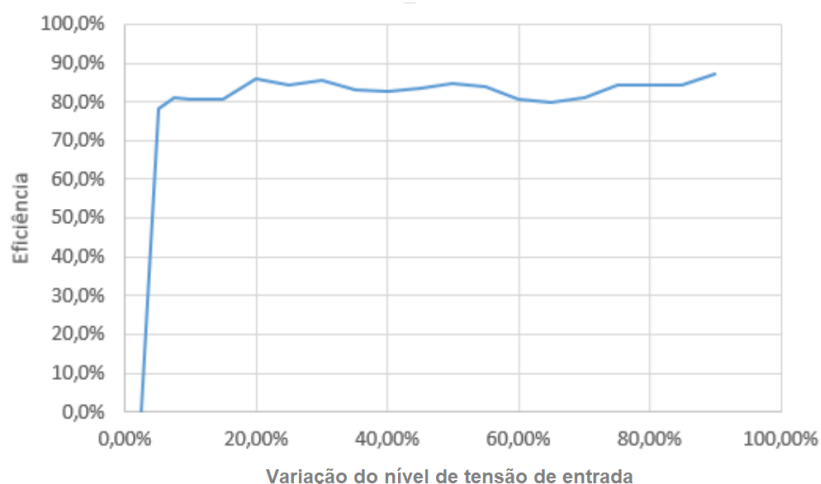
Figura 12.5 – Consumo versus intensidade luminosa em uma luminária LED



Fonte: Pinto (2015).

Foi apresentado anteriormente que a eficiência da lâmpada de LED é de 88%, de acordo com Pinto (2015), essa eficiência se mantém sempre acima dos 80%, não importando o nível da intensidade luminosa, como pode ser visto na Figura 12.6.

Figura 12.6 – Eficiência versus tensão de entrada em uma luminária LED



Fonte: Adaptado de Pinto (2015)

Com base nos valores de consumo, Pinto (2015) propõe que as lâmpadas fiquem ligadas com 100% de sua potência das 18h às 24h. E das 0h até as 6h com 50% de

intensidade. Esse modelo é proposto em três cenários: em luminárias de LED, ou seja, apenas reduzir a intensidade no período proposto; substituição das lâmpadas de vapor de sódio pelo sistema proposto; e substituição das lâmpadas de vapor de mercúrio para implementação do sistema de LED, com diferenciação da intensidade luminosa. Os resultados podem ser vistos na Tabela 12.1.

Tabela 12.1 – Indicadores dos três cenários propostos para o ensaio na redução de iluminação durante a noite em luminárias

Cenário	TIR	Payback
Sistema de iluminação que já possui arranjo de LED	4,7%	11,1 anos
Substituição das lâmpadas de vapor de sódio por LED	49,2%	3,0 anos
Substituição das lâmpadas de vapor de mercúrio por LED	92,6%	2,1 anos

Fonte: Pinto (2015).

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é um método de se avaliar propostas de investimentos. “Representa a taxa de desconto que iguala [...] os fluxos de entradas com os de saídas de caixa.” (Kassai, 1996). De acordo com Pinto (2015), “TIR é uma taxa capaz de equilibrar os benefícios com o fluxo negativo de investimento [...] um grande valor de TIR representa um bom investimento.” Pinto (2015, p. 101). A título de comparação, a caderneta de poupança no Brasil apresenta uma TIR de aproximadamente 7% (Pinto, 2015).

Payback é o período que demora para o investimento inicial ser recuperado, ou seja, “o prazo no qual os rendimentos acumulados tornam-se iguais ao valor que foi investido inicialmente.” (Reis, 2019). No caso, todo valor gasto para substituir as lâmpadas de vapor de mercúrio pelo sistema de iluminação proposto por Pinto (2015) é recuperado em pouco mais de 2 anos pela economia de energia que o novo sistema proporciona.

Na parte de sensoriamento, será utilizada como fonte de pesquisa o artigo de Ramli *et al.* (2015), da *Universiti Malaysia Pahang*, publicado no *Journal of Engineering and Applied Sciences* de 2015, que aborda o uso de sensores de infravermelho passivos para a automação do sistema de iluminação pública.

Para testar a hipótese, Ramli *et al.* (2015) montaram uma maquete e colocaram um conjunto de sensores de infravermelho nas esquinas das ruas, conectados a um Arduino UNO. Dessa forma, é possível saber de onde o veículo ou pedestre está vindo e para onde está indo, ligando as lâmpadas apenas da rua que o transeunte entrar.

Apesar do sensoriamento apresentar resultados satisfatórios, os testes não saíram do ambiente simulado da maquete. Dessa forma, os resultados apresentados referentes à economia de energia não são realistas, uma vez que o fluxo em via pública foi arbitrado. Segundo a pesquisa, um sistema com 12 lâmpadas de 400W de vapor do sódio consome 1.728 kWh por mês, enquanto o sistema com lâmpadas de LED de 200W consome 864kWh por mês, ambos trabalhando 12h por dia. Já com o sistema de automação proposto pelos pesquisadores, o consumo será de 720kWh por mês. Considerando que das 12 lâmpadas, 4 ficam 12h ligadas, uma em cada esquina, e as outras 8 funcionam de acordo com o tráfego. Para essas 8 lâmpadas, considerou-se um fluxo intenso das 19h até 1h da madrugada e fluxo baixo da 1h até as 7h da manhã, totalizando 9h de luminosidade em 100% e 3h de lâmpadas apagadas.

Com isso, Ramli *et al.* (2015) concluíram que há uma redução do consumo de 58,33% em relação as lâmpadas vapor de sódio e o sistema de LED com sensor de presença. Em uma comparação com um sistema de LED com e sem os sensores de presença, a redução do consumo é de 16,67%.

Os valores arbitrados pelos pesquisadores representam um alto fluxo na via pública. O presente trabalho, além de tentar captar o fluxo real para não ter que arbitrar valores, investigará o fluxo de uma pequena cidade, pois acredita-se que é onde a economia de energia será maior, mesmo se comparada a um sistema de iluminação de LED sem sensores de fluxo.

2 METODOLOGIA

Com vista no objetivo geral do trabalho, descobrir se a otimização do sistema de controle dos pontos de iluminação pública pode gerar diferença significativa no consumo de energia elétrica de uma cidade, sem prejudicar a iluminação das vias, serão montados dois dispositivos eletrônicos. O primeiro visa quantificar o fluxo, tanto de pedestres quanto de veículos, de uma determinada via pública. O segundo será uma maquete com minipostes de LED, que utilizará os dados coletados pelo primeiro dispositivo para realizar simulações, testando diferentes intensidades luminosas. Com isso será possível mensurar a quantidade de energia elétrica que um LED consome, na sua função de iluminação pública.

Este trabalho caracteriza-se como experimental, de acordo com Gil (2007). Esse tipo de pesquisa é o melhor exemplo de pesquisa científica, pois “Consiste essencialmente em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis capazes de influenciá-lo e definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto” Gil (2007, p. 48). Ainda de acordo com o autor, nesse tipo de pesquisa o pesquisador é um agente ativo, e não apenas um observador passivo. Como é o caso deste trabalho, o pesquisador é quem irá montar e programar os componentes eletrônicos citados e detalhados no capítulo anterior.

Entretanto, após a análise dos dados coletados, será possível quantificar o total de energia elétrica que pode ser economizada. Essa análise de dados, ainda de acordo com Gil (2007), pode ser classificada como quantitativa, uma vez que é possível quantificar a eletricidade.

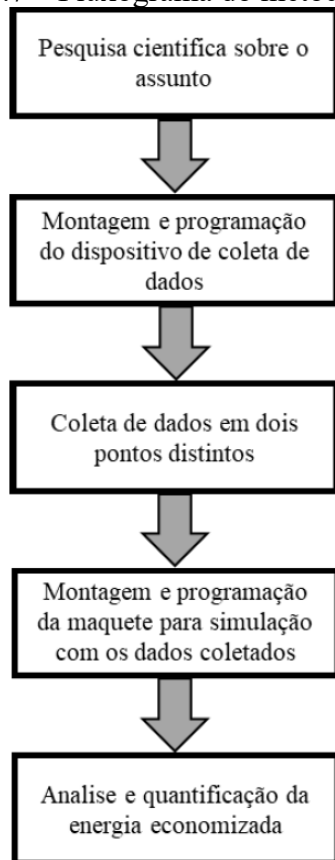
A redução do consumo elétrico com a diminuição da intensidade luminosa das lâmpadas de LED prolongará sua vida útil, porém não é possível mensurar esse tempo de vida a mais, que as lâmpadas ganharão. Nesse aspecto, de acordo com Gil (2007), a presente pesquisa pode ser classificada como qualitativa.

Os resultados poderão ser aplicados em qualquer cidade, que tenha iluminação em suas vias públicas. Porém, acredita-se que a melhor resposta referente a redução do consumo de energia elétrica será nas pequenas cidades ou em bairros residenciais das grandes cidades. Uma vez que a redução do consumo será proporcional ao fluxo de pedestres e veículos. O que não significa que não haverá redução do gasto energético em grandes centros, afinal até mesmo as grandes avenidas têm redução expressiva de movimento durante a madrugada. Contudo são as prefeituras das pequenas cidades que podem ter grandes economias em suas despesas, visto que algumas dessas cidades têm a conta de luz como segundo maior gasto mensal, ficando atrás apenas da folha salarial (Rodrigues, 2020).

Antes de se pensar em qualquer método de aplicação, inicialmente é necessário fazer uma pesquisa científica. Buscou-se na literatura trabalhos sobre controle, acionamento e otimização do sistema de iluminação pública, para descobrir se a ideia poderia ser viável. O segundo momento consiste na montagem e programação do dispositivo remoto de coleta de dados. Posteriormente, será iniciada a construção da maquete, que possibilitará a simulação em ambiente controlado dos dados coletados, o que facilitará a visualização da hipótese proposta. Por fim, será analisada a quantidade de energia elétrica economizada com a otimização do sistema de acionamento das luminárias

da maquete. Ao ser extrapolada para um cenário real, será possível analisar se o consumo reduziu significativamente. Essas etapas estão resumidas no fluxograma na Figura 12.7.

Figura 12.7 – Fluxograma do método aplicado



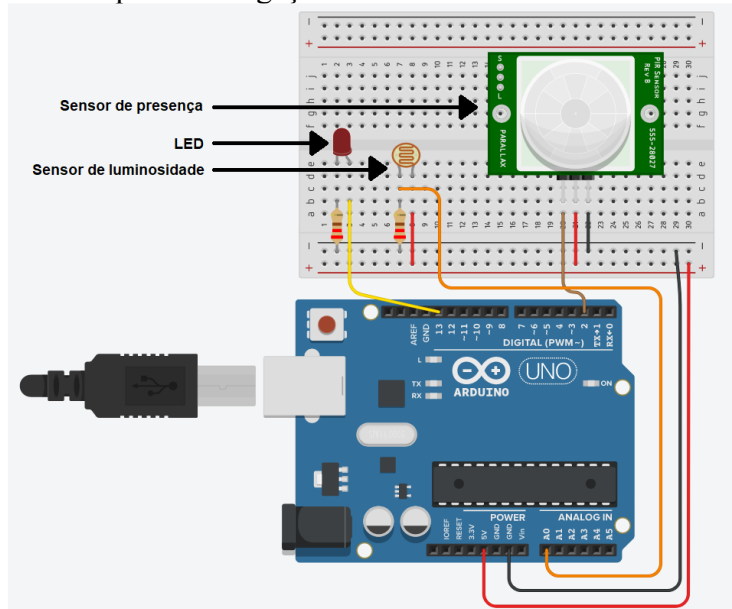
Fonte: Autor (2021).

Para a montagem do dispositivo de coleta de dados, será utilizado um microcontrolador com um sensor de presença, que detectará o fluxo em via pública, e um sensor de luminosidade, que habilitará o sensor de presença apenas de noite. Toda vez que uma pessoa ou um veículo passar na frente do sensor, durante a noite, será enviado um sinal digital para o microcontrolador, que irá computar e armazenar quantas vezes o sensor captou algum movimento.

A Figura 12.8 mostra o Arduino UNO. Em uma de suas portas digitais está ligado o sensor de presença, ou seja, o sensor envia apenas 2 sinais, ligado e desligado. Diferentemente do sensor de luminosidade, que envia valores de 0 a 1.023, dependendo da quantidade de luz que incide sobre ele. Por isso esse sensor está ligado a uma porta analógica do Arduino. Já o LED, que também está ligado a uma porta digital, funciona apenas para indicar quando o sensor de presença captar algum movimento. Para isso, essa

porta digital está configurada com saída. É o Arduino que envia o sinal para o LED, ligado ou desligado.

Figura 12.8 – Esquema de ligação do coletor dados de fluxo de movimento



Fonte: Autor (2021).

Fora determinado que o dispositivo será fixado em dois locais distintos, coletando dados durante uma semana em cada ponto. No primeiro momento será fixado no poste de entrada de energia elétrica, na residência do pesquisador. Uma rua tranquila, com poucos moradores, na cidade de Xangri-lá. Posteriormente, no mesmo tipo de poste, porém em uma casa situada na única rua que faz ligação entre os municípios de Xangri-lá e Osório, além de ser próxima a um acesso à praia, ou seja, um ponto com bastante movimento, tanto de pedestres quanto de veículos. Dessa forma serão obtidos dados bastante distintos, entretanto ambos de uma mesma cidade com uma população pequena, estimada em 16.775 habitantes (IBGE, 2020).

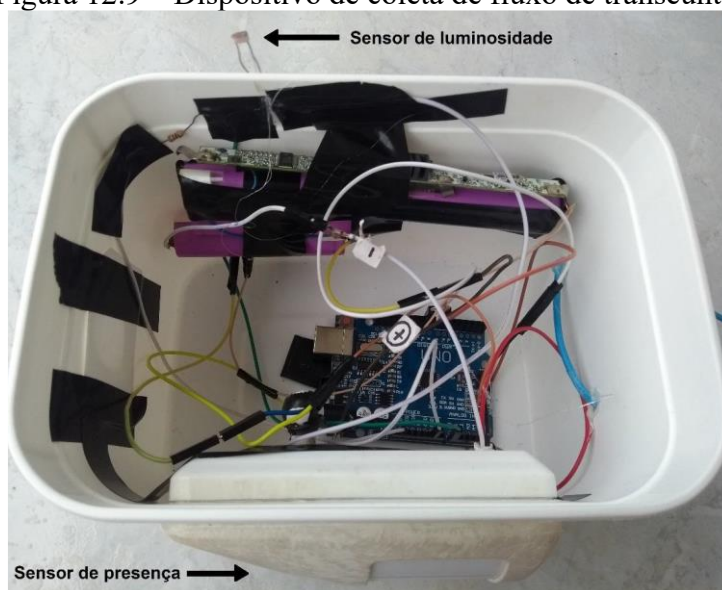
Outro microcontrolador será utilizado para fazer o acionamento e o controle da intensidade luminosa das luminárias de LED da maquete. Ele também será equipado com outro sensor de presença, instalado na maquete. Esse microcontrolador será alimentado com os dados obtidos pelo coletor de fluxo de movimento. Além de ser possível também simular situações com base na análise de dados dos dois pontos de coleta distintos, ou seja, além das informações reais coletadas em via pública, é possível criar situações a partir dos dados empíricos. Há ainda a possibilidade de utilizar o sensor de movimento da maquete para fazer simulações de fluxo, essa para fins lúdicos.

Dessa forma, será possível visualizar na maquete a diferença da intensidade luminosa, quando não há movimentação na via. De acordo com o tempo que as luminárias ficarem ligadas (com dados obtidos na rua ou simulados) será possível calcular a quantidade de energia elétrica economizada, pois ela terá relação com o tempo em que cada lâmpada ficará ligada, desligada, ou ainda, ligada com uma menor intensidade luminosa, proposta do trabalho.

3 RESULTADOS E ANÁLISE

Para montar o primeiro dispositivo, foi utilizado um módulo microcontrolador Arduino UNO ligado a um sensor fotossensível e a um sensor de presença, para fazer a contagem do fluxo de transeuntes em via pública, somente a noite. A Figura 12.9 mostra como esses componentes foram encapsulados, juntamente com uma bateria de *notebook* como fonte de alimentação, para proteção contra chuva.

Figura 12.9 – Dispositivo de coleta de fluxo de transeuntes



Fonte: Autor (2021).

A fim de obter dados mais realistas, optou-se por posicionar esse dispositivo em dois pontos distintos na cidade de Xangri-lá – RS. O primeiro ponto de fixação foi em uma rua com poucos moradores e baixo fluxo, tanto de veículos quanto de pedestres, por ser uma rua em que a maioria das casas são usadas apenas no verão. O segundo, apesar

de não ser distante do primeiro ponto e de também possuir poucos moradores fixos, a maioria das residências é de uso sazonal, e a única avenida que faz a ligação entre o município de Xangri-lá e Osório (além da rodovia estadual RS-389). Essa mesma avenida também dá acesso à praia para pedestres, e um ponto estratégico para o presente trabalho, pois há grande diferença de fluxo entre os dois pontos escolhidos.

Independentemente do ponto escolhido, o número de transeuntes na cidade aumenta nos finais de semana, por isso optou-se por coletar as informações durante uma semana em cada um dos pontos de coleta de dados. Após a calibração do sensor fotorresistivo e alguns dias de testes para garantir que o dispositivo não iria computar o fluxo durante o dia, fixou-se o dispositivo no poste de energia elétrica, inicialmente na casa do pesquisador e na semana seguinte da casa do vizinho de esquina.

Dessa forma, foi possível compilar os dados coletados entre os dias 2 e 15 de dezembro de 2021 e elaborar a Tabela 12.1. Os dados de cada dia representam a noite anterior e a madrugada respectiva, ou seja, os números de domingo foram contabilizados de sábado ao anoitecer até a alvorada de domingo.

Tabela 12.1 – Comparação do fluxo de transeuntes nos dois pontos de coleta

	Domingo	Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira	Sábado
Ponto 1	9	7	8	7	9	10	12
Ponto 2	29	25	21	18	22	35	39

Fonte: Autor (2021).

O dispositivo confirmou a hipótese de o segundo ponto ser muito mais movimentado do que o primeiro. Na média, no ponto 1 o fluxo diário foi de 8,85 transeuntes, entretanto, a fim de facilitar os cálculos, será arredondado para 9 a média do ponto 1. Já no ponto 2 a média foi de 27 por noite, isso representa um fluxo aproximadamente 3 vezes maior. Apesar da tabela mostrar os dados por noite, optou-se por usar a média dos valores, uma vez que os dados não foram coletados simultaneamente nos dois pontos estipulados. Uma análise diária pode ser distorcida por fatores externos, como o tempo, por exemplo. Um dia chuvoso tem um movimento significativamente menor em relação ao mesmo dia da semana, sem chuva e ensolarado.

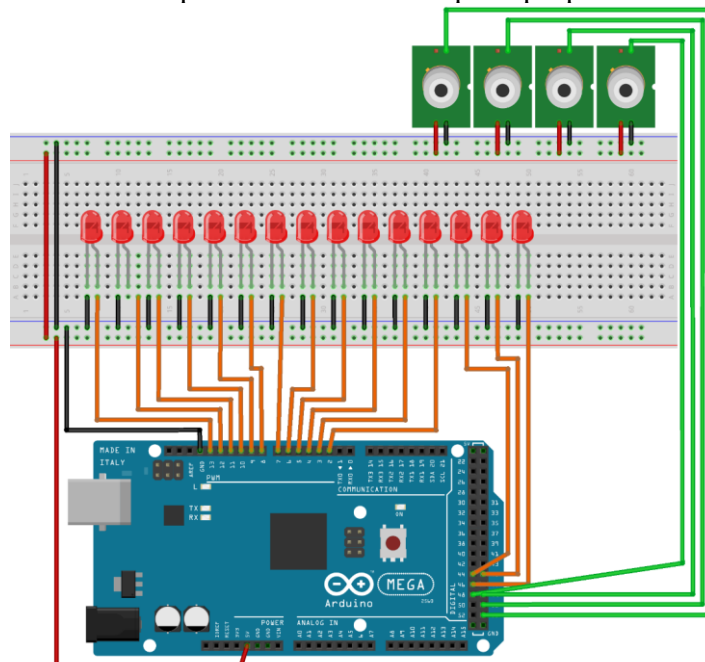
Porém, vale ressaltar que os dias de maior movimentação em via pública ocorreram no sábado, em ambos os pontos de coleta. Já os dias com menor fluxos foram quarta-feira e quinta-feira, corroborando com a hipótese de que o fluxo maior acontece nos finais de semana, devido aos turistas e aos moradores esporádicos, o que leva a querer

que cidades pequenas podem ter grandes benefícios com a implementação de um sistema de controle automatizado para a iluminação pública.

Para montar o segundo dispositivo, utilizou-se dois módulos microcontroladores Arduino do modelo MEGA, para fazer o controle de pequenos postes de LED. Ao todo são 28 minipostes, cada um conectado a uma porta do Arduino. Assim é possível controlar cada lâmpada independentemente, além de ser possível mensurar a corrente elétrica em cada luminária, podendo determinar o consumo de energia elétrica. Apesar do Arduino MEGA possuir mais de 30 saídas, apenas 15 delas possuem modulação por largura de pulso (PWM), ou seja, só é possível fazer o controle da intensidade luminosa através de 15, das 54 portas digitais desse modelo de Arduino.

A maquete simula três ruas paralelas e mais uma avenida, que faz a ligação entre essas três ruas. Cada rua possui oito minipostes e a avenida possui quatro minipostes duplos, um poste no canteiro central com duas luminárias, uma para cada lado. Em cada esquina instalou-se um pequeno sensor de movimento, também conectado aos Arduinos, cada microcontrolador é responsável por metade da maquete, como pode ser visualizado no esquema representado pela Figura 12.10.

Figura 12.10 – Esquema elétrico da maquete proposta no trabalho



Fonte: Autor (2021).

Cada LED é ligado diretamente a uma porta PWM do Arduino, o que dispensa a utilização de resistores, uma vez que a saída enviará a tensão exata que o LED precisa (3V), ou metade, a depender da situação em teste.

Com base nos dados coletados pelo primeiro dispositivo, foi possível fazer simulações na maquete. Utilizou-se três abordagens distintas, a primeira é baseada no modelo de Pinto (2015), em que os pontos de luz diminuem sua intensidade luminosa quando não há movimentação na rua. A segunda experiência baseia-se em Ramli *et al.* (2015), no qual as luminárias apagam por completo quando não é detectada movimentação na via pública, com exceção dos postes de esquina. E, por fim, a terceira abordagem é a soma dessas duas ideias, quando não há circulação na rua, alguns pontos luminosos desligam e outros ficam com 50% da tensão de trabalho, intercaladamente.

Com isso, aproveita-se o melhor das duas ideias apresentadas no referencial teórico. É possível ter uma maior economia com as luminárias totalmente desligadas, porém a via não ficará completamente escura, afinal metade dos pontos de iluminação de uma rua ficarão com 50% da luminosidade.

As simulações na maquete foram baseadas nos dados obtidos nos dois pontos de coleta pelo primeiro dispositivo. Com isso foram simuladas seis situações, as três descritas acima com os dados dos dois pontos de coleta. Estipulou-se que, ao detectar alguma movimentação, todos os postes ligariam com 100% da capacidade por 5 minutos, retornando, posteriormente, ao estado inicial, dependendo da situação: ficando todos os minipostes apagados; todos com 50% da tensão; ou 50% das luminárias desligadas e a outra metade operando com 50% da tensão.

Baseado no sensor de luminosidade instalado no primeiro dispositivo, verificou-se que as luminárias deveriam trabalhar por cerca de 10 horas, das 19 horas até as 5h da manhã. Porém os dados foram coletados no final da primavera, quando o dia é maior do que a noite. Durante o inverno, as luminárias devem trabalhar por mais de 12h. Por isso, optou-se por estipular 12h de trabalho, o que deve representar a média anual.

Com isso, no ponto 1, as luminárias dos postes devem trabalhar a 100%, por 45 minutos por noite, uma vez que a média do ponto 1 foi de 9 transeuntes vezes 5 minutos de acionamento. Já no ponto 2, com média diária de 27 transeuntes, as luminárias trabalhariam com 100% da capacidade por 2 hora e 15 minutos. Para fins de cálculo, utilizou-se as informações de Ramli *et al.* (2015), que aponta que cada lâmpada de vapor de sódio tem uma potência de 400W. Já as lâmpadas de LED, também com base em Ramli *et al.* (2015), trabalham com uma potência de 200W.

Para calcular o consumo de eletricidade nos momentos em que não há movimentação na rua, foi medida a corrente elétrica do miniposte com 50% da tensão e verificou-se uma corrente de 11mA (miliampéres), enquanto com 100% da tensão a corrente é de 22mA (miliampéres). Sabendo a tensão de trabalho do miniposte de LED, 3V, e a sua corrente com 100% e 50% da tensão, é possível, com um comportamento proporcional, calcular a corrente da luminária de LED, utilizada nos pontos de iluminação pública e, conseqüentemente, sua potência projetada, que é de 50W (com 50% da tensão).

Dessa forma, foi possível montar a Tabela 12.2, que apresenta o consumo de energia elétrica nas três abordagens, para um sistema de 32 lâmpadas, além do consumo do sistema com lâmpadas de vapor de sódio e de LED, sem o dispositivo de automação das luminárias.

Tabela 12.2 – Consumo de energia em uma noite com sistema clássico, com lâmpadas de LED e os três sistemas otimizados de iluminação para 32 luminárias

	Ponto de coleta 1	Ponto de coleta 2
a) Lâmpadas de vapor sódio ligadas por 12 horas	153,6 kWh	153,6 kWh
b) Lâmpadas de LED ligadas por 12 horas	76,8 kWh	76,8 kWh
c) Lâmpadas de LED com 50% da tensão quando não há movimento	22,8 kWh	30 kWh
d) Lâmpadas de LED apagadas quando não há movimento	12 kWh	21,6 kWh
e) Metade das lâmpadas de LED apagadas e metade com 50% da tensão	13,8 kWh	22,2 kWh

Fonte: Autor (2021).

Para elaborar a tabela considerou-se, no primeiro caso (a) de 32 lâmpadas de 400W ligadas por 12h, representando 153,6kWh. No caso (b) de 32 lâmpadas de LED de 200W ligadas por 12h, a fim de estabelecer um controle, que consomem 76,8kWh. No terceiro caso (c) admite-se as mesmas lâmpadas de LED, porém com 50% da tensão por 11 horas e 15 minutos no ponto de coleta 1, e 9 horas e 45 minutos no ponto 2, somados aos 45 minutos e as 2 horas e 15 minutos com 100% da força de trabalho, respectivamente, totalizando 22,8kWh e 30kWh.

Para o quarto caso (d) utilizou-se 45 minutos com 100% da potência no ponto 1 de coleta e 2 horas e 15 minutos no segundo ponto, além de três luminárias, uma em cada esquina, que ficaram ligadas por 12h, uma vez que, nesse caso, quando não há detecção de movimento, as demais lâmpadas se apagam, com isso o consumo foi de 12 kWh e 21,6 kWh, respectivamente. No quinto e último caso (e) considerou-se 16 lâmpadas com 50% da tensão e 16 apagadas por 11 horas e 15 minutos, no ponto de coleta 1, e 9 horas e 45

minutos no ponto de coleta 2. Somados, respectivamente, com 45 minutos e 2 horas e 15 minutos de 32 lâmpadas com 100% da tensão, resultando em 13,8kWh no primeiro ponto de coleta e 22,2kWh no segundo ponto.

A Figura 12.11 representa a última situação (e) em uma maquete virtual. Nessa simulação um veículo atravessou toda a Avenida A e entrou na Rua 1, fazendo com que todas as luminárias da avenida fossem ligadas com 100% da capacidade, enquanto na Rua 1, metade da rua também ficou com as lâmpadas em 100% e a outra metade da rua, onde não foi detectado movimento, os postes intercalaram, mantendo algumas luminárias com 50% da potência e as outras permaneceram desligadas.

Figura 12.11 – Representação da maquete com luminárias desligadas e ligadas com 50% e 100%



Fonte: Autor (2021).

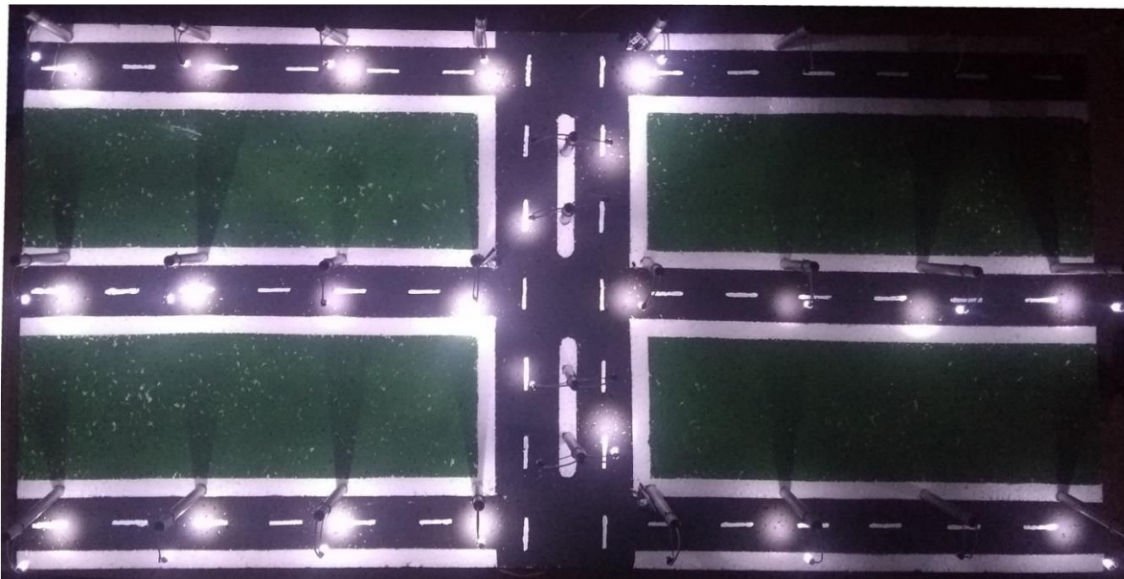
Para fazer a simulação na maquete utilizou-se duas abordagens, a primeira situação faz o controle das luminárias da maquete através dos dados coletados em via pública, ou seja, através da programação do microcontrolador, foi predeterminado qual LED deveria apagar ou ter a tensão reduzida e quanto tempo deveriam ficar com 100% da tensão, de acordo com o tempo coletado pelo primeiro dispositivo. Dessa maneira foi possível calcular o consumo de energia elétrica nas três situações, descritas anteriormente, além de ter uma visualização das condições de iluminação.

A segunda abordagem é mais lúdica. Utiliza sensores de presença nas esquinas da maquete, simulando uma situação mais realista. Para isso, alterou-se a programação dos Arduinos para que mantenham todos os LEDs apagados ou com 50% da potência. Ao

detectar movimento em uma das esquinas, o microcontrolador liga com 100% da potência para todos os postes da respectiva rua e os mantém ligados por um minuto.

Na Figura 12.12 é possível ver a maquete em funcionamento com uma programação especial, de forma a representar as três abordagens investigadas no presente trabalho. Para melhor visualizar a diferença entre os modelos propostos e a iluminação plena, metade de todas as ruas estão em funcionamento pleno, ou seja, com as luminárias com 100% da tensão. Na outra metade da primeira rua todas as lâmpadas permanecem desligadas enquanto não é detectado movimentação, com exceção da luminária de esquina. Na segunda rua utiliza-se o conceito da primeira abordagem, manter todas as luminárias com 50% da tensão enquanto não há movimento, já a terceira rua, assim como a avenida, são resultados da soma dos dois métodos, metade das luminárias ficam desligadas, enquanto a outra metade trabalha com 50% da tensão.

Figura 12.12 – Maquete com postes desligados e ligados com 50% e 100% da tensão de trabalho



Fonte: Autor (2021).

Dessa forma, foi possível obter seis resultados distintos, provenientes de três abordagens em dois locais diferentes, além dos resultados calculados para os controles, com lâmpadas de vapor de sódio e lâmpadas de LED. O próximo passo visa analisar e comparar os resultados, a fim de qualificar quais são os que tiveram maior redução de consumo elétrico e quais melhores se adaptam a realidade brasileira, principalmente das pequenas cidades.

A partir dos resultados obtidos anteriormente, foi realizada uma análise comparativa entre os seis resultados e com os dois trabalhos que fundamentaram o referencial teórico da presente pesquisa, a dissertação de mestrado da Pinto (2015) e o artigo de Ramli *et al.* (2015).

Inicialmente, foi realizada uma análise entre as três abordagens estudadas com relação aos dois métodos de controles, com lâmpadas de vapor de sódio e lâmpadas de LED, sem otimização do sistema de acionamento.

Dessa forma, foi elaborada a Tabela 12.3, que mostra qual foi a redução do consumo de energia elétrica, em porcentagem nas três abordagens, em relação as duas situações piloto, lâmpada de vapor de sódio e lâmpadas de LED, sem a otimização do acionamento das lâmpadas.

Tabela 12.13 – Economia de energia elétrica das três situações testadas em relação aos dois controles

	Ponto de coleta 1		Ponto de coleta 2	
	Sódio	LED	Sódio	LED
c) Lâmpadas de LED com 50% da tensão quando não há movimento	85,15%	70,31%	80,46%	60,93%
d) Lâmpadas de LED apagadas quando não há movimento	92,18%	84,37%	85,93%	71,87%
e) Metade das lâmpadas de LED apagadas e metade com 50% da tensão	91,01%	82,03%	85,54%	71,09%

Fonte: Autor (2021).

Para chegar aos valores da tabela, é detalhado apenas o caso (c), a diferença do consumo entre as lâmpadas de LED com 50% da tensão, quando não há movimento e com uso de lâmpadas de vapor de sódio. Foi subtraído o consumo de uma noite das lâmpadas de LED (22,8kWh), do consumo das lâmpadas de vapor de sódio (153,6kWh), sendo o resultado (130,8kWh) dividido pelo consumo das lâmpadas de sódio e multiplicado por 100, para se obter o valor percentual (85,15%). Procedeu-se da mesma forma, para fazer a comparação entre as três situações dos dois pontos de coleta e os dois controles, lâmpadas de vapor de sódio e lâmpadas de LED, sem a otimização do sistema de controle.

É possível perceber que a maior redução do consumo de energia elétrica aconteceu na situação em que as lâmpadas ficam apagadas, quando não há detecção de movimento, com exceção das luminárias de esquina (d), chegando a mais de 92% de economia em

relação as lâmpadas de vapor de sódio e 84,37% em relação as lâmpadas de LED que ficaram ligadas por 12h, ambos dados de acordo com o primeiro ponto de coleta.

A diferença entre os dois últimos métodos (d) e (e) é muito pequena em relação ao consumo de energia elétrica. Entretanto, na última situação (e) a cidade fica mais iluminada. Postes intercalados entre desligados e ligados com 50% da tensão iluminam mais e de forma mais homogênea do que todos os postes apagados e apenas as esquinas iluminadas. O que leva a conclusão de que é mais vantajoso investir em mais sensores, para se ter uma captação de movimento mais precisa, não apenas nas esquinas, como foi proposto por Ramli *et al.* (2015).

Ramli *et al.* (2015) utilizaram 12 lâmpadas para elaborar o artigo. Também foi estabelecido dois controles com lâmpadas de vapor de sódio e de LED, ligadas por 12h. Para montar o experimento, os autores estipularam que quatro luminárias ficariam 12h ligadas (nas esquinas) e oito lâmpadas seriam acionadas. De acordo com o movimento, foi arbitrado que os pontos de luz seriam acionados durante 9h, o que representa um fluxo bastante intenso. Dessa forma, os autores calcularam que a economia de energia foi de 58,33%, em relação as lâmpadas de vapor de sódio, e de 16,67% se comparado com as lâmpadas de LED, ligadas por 12h.

A relação entre luminárias acionadas pelo movimento (8) e aquelas que ficam ligadas nas esquinas (4) é maior do que a relação do presente trabalho, no qual apenas três lâmpadas ficaram ligadas toda a noite, enquanto 29 eram acionadas pelo movimento. Ao aumentar essa relação para seis lâmpadas sempre ligadas e 26 ligadas pelo fluxo de pessoas ou carros, o consumo fica maior do que a última situação testada (e), no qual metade das luminárias apagam e a outra metade permanece em 50% da tensão.

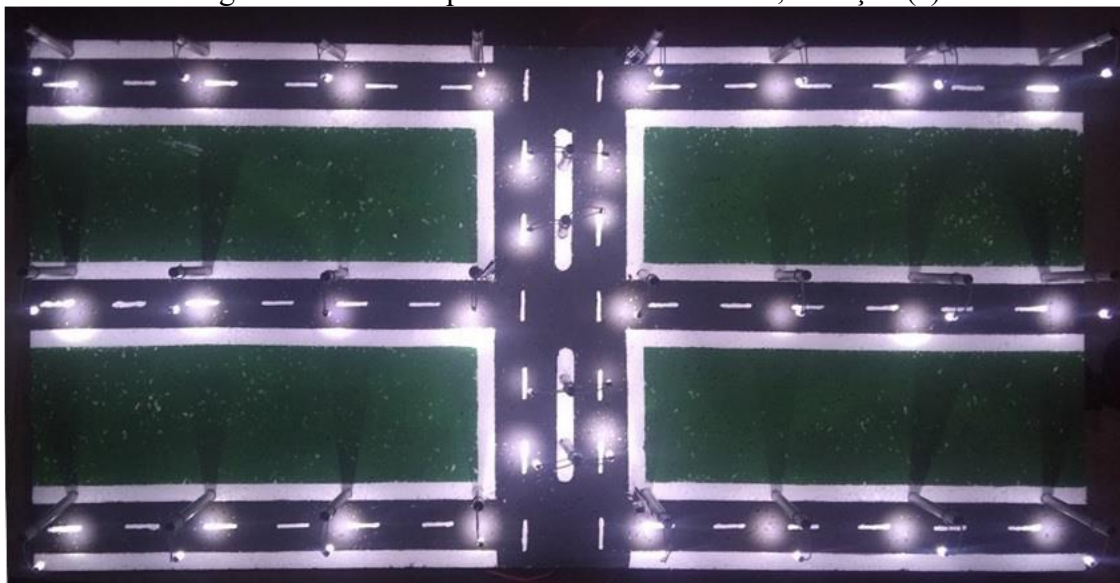
Dessa forma, é possível concluir que é mais vantajoso, tanto economicamente quanto na questão da iluminação, adotar um sistema de controle de intensidade luminosa do que um sistema de iluminação binária. Isso acontece porque ao se reduzir pela metade a tensão de entrada da lâmpada, a potência é reduzida quatro vezes e a corrente cai pela metade.

Apenas a substituição das lâmpadas de vapor de sódio por lâmpadas de LED pode resultar em uma economia de 50%. Elaborar e implementar um sistema em que grande parte da cidade ficará completamente escura, sem trazer grande economia de energia elétrica não é uma proposta muito viável. O fluxo em via pública estabelecido por Ramli *et al.* (2015) é bastante intenso. Das 12h, as luminárias ficaram apagadas apenas durante 3h. Já o fluxo medido no presente trabalho é muito menor, mesmo no segundo ponto de

coleta. Entretanto, esse conceito de monitorar o fluxo pelas esquinas e apagar as luminárias quando não há movimento, apresentou resultados aquém em relação ao último teste (e).

Pinto (2015) definiu, em sua dissertação, que o fluxo de transeuntes resultaria em 50% do tempo total de luminárias trabalhando, com 100% da tensão. Na outra metade do tempo (6h), todas as lâmpadas ficaram com metade da tensão. Aplicou-se essa mesma situação no presente trabalho, como pode ser visto na Figura 12.13.

Figura 12.13 – Lâmpadas com 50% da tensão, situação (c)

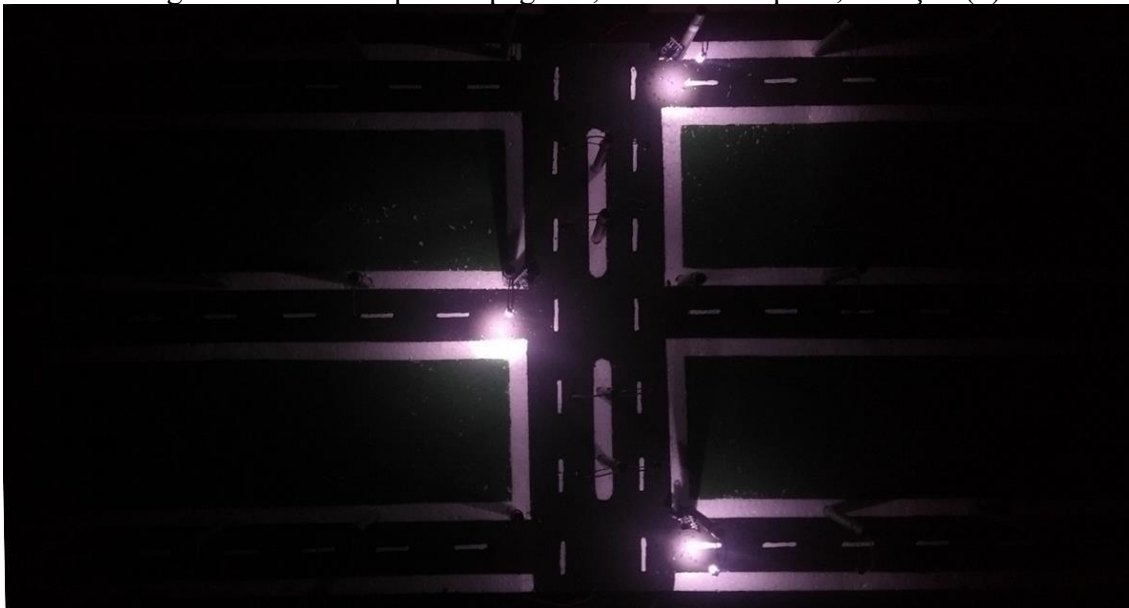


Fonte: Autor (2021).

Esse teste apresenta um consumo de 48kWh em uma noite, o que representa 68,75% mais econômico do que lâmpadas de sódio, ligadas por 12h, ou 37,5% em relação as lâmpadas de LED, com 12h de trabalho.

Para fins de comparação, será utilizada essa mesma situação estabelecida por Pinto (2015), em que 50% do tempo os sensores detectaram movimento, e aplicada a nossa quarta situação (d). No qual as luminárias trabalham em força plena por 6h, no restante do tempo ficam apagadas, com exceção das três lâmpadas de esquina, como pode ser visto na Figura 12.14.

Figura 12.14 – Lâmpadas apagadas, exceto da esquina, situação (d)

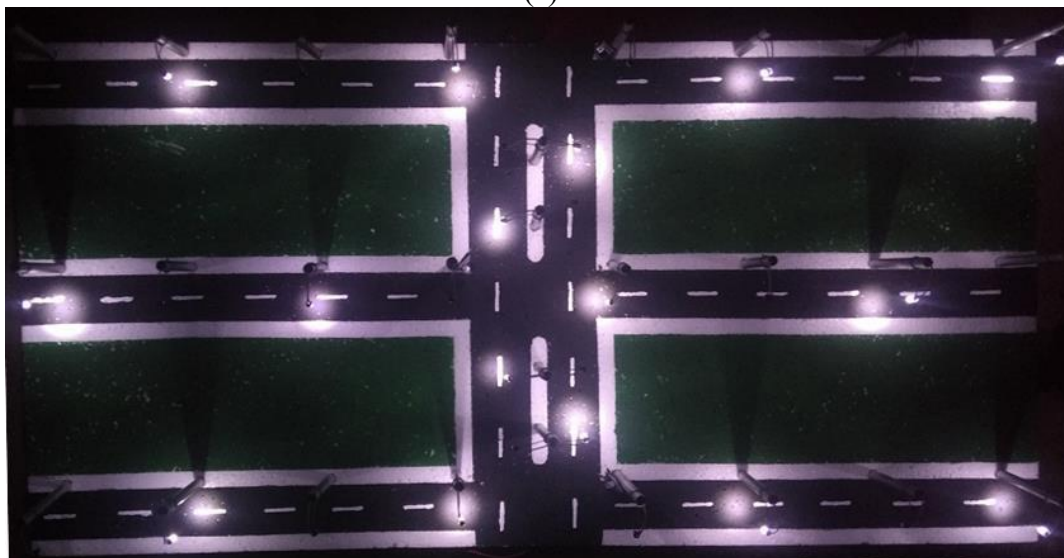


Fonte: Autor (2021).

Em uma situação como a apresentada na figura, o consumo será de 42kWh por noite, valor abaixo da situação anterior, porém muito próximo. O que leva a conclusão de que manter as luminárias com metade da tensão é mais vantajoso do que desligar a maioria e deixar apenas algumas poucas trabalhando com a tensão nominal.

Por fim, será empregado o mesmo exemplo na última situação (e), ou seja, durante 6h todos os postes ligados, e nas outras 6h, 16 lâmpadas desligadas e 16 trabalhando com metade da tensão, conforme apresentado na Figura 12.15.

Figura 12.15 – Metade das lâmpadas apagadas e metade com 50% da tensão, situação (e)



Fonte: Autor (2021).

Dessa forma, o consumo em uma noite será de 43,2 kWh, resultado muito próximo do último teste (d). Por óbvio, essa situação é mais econômica do que a situação (c), em que todas as lâmpadas permanecem ligadas com 50% da tensão. Entretanto, a surpresa está ao se comparar com a situação (e). Os resultados são tão próximos que, se aumentar para seis o número de luminárias ligadas a noite toda, essa situação já deixa de ser a mais econômica. Dessa maneira, é mais econômico manter 16 lâmpadas ligadas com metade da tensão, do que ter apenas seis lâmpadas com 100% da tensão, quando não há detecção de movimento.

Esses dados podem ser melhores visualizados na Tabela 12.4, que compila os resultados das três situações (c), (d) e (e), com 50% do tempo das luminárias em funcionamento pleno e as 6h restantes de acordo com o experimento.

Tabela 12.4 – Consumo de energia elétrica das situações testadas em 50% de tempo com tensão nominal

Situação teste	Consumo
c) Lâmpadas de LED com 50% da tensão	48 kWh
d) Lâmpadas de LED apagadas	42 kWh
e) Metade das lâmpadas de LED apagadas e metade com 50% da tensão	43,2 kWh

Fonte: Autor (2021).

Pinto (2015) não apresenta os resultados em relação ao consumo, uma vez que não era seu objetivo. Seu foco era apresentar os dados referente ao custo de produção de um sistema de monitoramento e controle da rede elétrica, incluindo as luminárias, e calcular em quanto tempo o sistema seria pago, com a economia gerada pela sua implementação. Dessa forma, não é possível fazer uma comparação direta entre os seus resultados e os apresentados neste trabalho. Porém, a autora conclui que, mesmo com o acionamento total das lâmpadas em 50% do tempo, o sistema é um investimento mais rentável do que a caderneta de poupança, ou seja, mesmo onde há fluxo intenso o sistema é viável.

Pinto (2015) afirma, ainda, que 50% do tempo de operação é o limite para garantir o retorno do investimento, ou seja, se o fluxo em via pública for responsável por acionar as lâmpadas, por mais do que 50% do tempo de operação de uma noite, o sistema torna-se inviável, é mais vantajoso manter as luminárias de LED ligadas a noite toda, do que investir em um sistema de automação do acionamento.

Entretanto, um sistema de iluminação em que metade das lâmpadas diminuam a intensidade luminosa e as demais se apaguem quando não há movimentação, pode funcionar com um movimento maior do que 50%. Uma vez que a economia de energia será maior, assim como o tempo de vida das lâmpadas. Afinal seu tempo de vida é determinado pelas horas em que ela fica ligada. Se houver uma alternância em quais lâmpadas ficam desligadas e quais trabalham com 50% da tensão, então a vida útil de todas as lâmpadas serão prolongadas, o que afeta diretamente o cálculo da viabilidade de implementação do sistema de automação das luminárias.

Por fim, é possível concluir que os dados de fluxo de transeuntes coletados são bastante discrepantes daqueles estabelecidos por Ramli *et al.* (2015) e Pinto (2015). Isso se dá pela diferença de abordagem, enquanto os autores projetavam um intenso fluxo urbano, o presente trabalho investigou o fluxo de uma pequena cidade. Dessa forma, é possível afirmar que qualquer sistema e automação das luminárias testado na presente pesquisa é viável em cidade com baixa densidade demográfica.

Ademais, o método proposto, metade das lâmpadas de LED apagadas e metade com 50% da tensão, pode ser executável em grandes cidades, com até mais de 50% do tempo de acionamento pleno, o que representa um fluxo intenso. Pode não ser viável em avenidas de grandes centros urbanos, no entanto pode ser exequível em bairros residenciais desses mesmos centros urbanos.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A hipótese de controlar o acionamento das luminárias públicas, a fim de reduzir o consumo de energia elétrica, se mostrou viável. A primeira experiência prática, que visava investigar o fluxo de transeuntes, mostrou que o movimento em cidades pequenas é muito abaixo do que a literatura estabelece para as grandes cidades. Isso se dá pela diferença de abordagem, em que os autores pesquisados não investigaram o fluxo em via pública, apenas estipularam um intenso fluxo que representaria uma grande cidade, enquanto a presente pesquisa mensurou a intensidade do fluxo em uma cidade pequena. De acordo com os dados coletados no ponto 1, exige-se iluminação em apenas 6,25% do tempo de trabalho das luminárias, ou seja, na maior parte do tempo de trabalho, as lâmpadas não têm necessidade de estarem ligadas.

Com esses dados coletados, além daqueles retirados da literatura científica, foi possível fazer simulações na maquete e concluiu-se que é mais vantajoso adotar um sistema de controle de intensidade luminosa, do que um sistema binário, que apenas liga e desliga a lâmpada. Não apenas por questões econômicas, mas também por conforto e segurança, uma vez que a cidade fica mais homoganeamente iluminada dessa forma do que com a maioria das lâmpadas desligadas e apenas algumas com 100% da tensão.

Apoiando-se na literatura investigada, ficou constatado que a situação proposta, luminárias que se intercalam entre apagadas e com 50% da tensão nominal, pode funcionar até mesmo em grandes cidades. Isso só é possível com o controle individual de cada lâmpada. O que se faz crer que é mais válido investir em um sistema de sensoriamento mais preciso e uniformemente espalhado pelas ruas, do que apenas nas esquinas. Mesmo que isso gere um custo a mais para implementação do sistema, o sensoriamento é um gasto irrisório, frente ao retorno financeiro que será proporcionado.

A maquete elaborada para este estudo mostrou-se valiosa para testar e melhor visualizar as hipóteses. Entretanto o dispositivo de coleta de dados de fluxo urbano foi essencial para mensurar a quantidade de tráfego. O trânsito se mostrou muito menor do que o esperado, mesmo para uma cidade pequena e sazonal, e menor ainda daqueles encontrados em trabalhos acadêmicos. Com isso é possível inferir que a otimização de sistemas de iluminação pública pode resultar em uma economia de energia maior do que a prevista pela academia científica.

Os dados referentes a quantidade de energia elétrica que pode ser economizada são expressivos, principalmente para cidades pequenas, onde o fluxo em via pública é menos intenso e a proporção entre moradores e postes é maior, ou seja, há mais postes por moradores.

Entretanto, áreas residenciais das grandes cidades também podem se beneficiar com a implementação de um sistema de automação das luminárias.

Este trabalho propôs um estudo inicial sobre uma possível implementação de um sistema para otimizar as luminárias públicas. Para futuras pesquisas na área, sugere-se a investigação de sensores e demais componentes que podem ser ligados ao microcontrolador. Tentar descobrir qual é o melhor sensor de presença para uso urbano, além de mensurar quantos e qual a melhor posição para instalá-los.

Também é importante tentar agregar novas funcionalidades para o microcontrolador. Instalando sensores de temperatura, pressão e humidade é possível ter uma miniestação meteorológica em cada poste.

Estudar a aplicabilidade da disponibilização de sinal de internet sem fio para população, ou monitorar a rede elétrica, para evitar e localizar pontos com problema na rede, são alguns exemplos de novas aplicabilidades para os microcontroladores em postes de luz.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUERA, Roger Saraiva. **Cenário brasileiro da iluminação pública**. 2015. 58 f. Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica Com Ênfase em Sistemas de Energia e Automação, Departamento de Engenharia Elétrica e Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015. Disponível em: <http://www.Monografia.sc.usp.br/tce/disponiveis/18/180500/tce-19042016-113314/?&lang=br>. Acesso em: 1 set. 2020.

CAXIAS DO SUL. Prefeitura de Caxias do Sul. Secretaria Municipal de Obras e Serviços. **Prefeitura investe R\$ 1,6 milhão em aquisição de luminárias LED: modernização melhora eficiência da iluminação pública nos pontos instalados**. Modernização melhora eficiência da iluminação pública nos pontos instalados. 2019. Disponível em: <https://caxias.rs.gov.br/noticias/2019/02/prefeitura-investe-1-6-milhao-em-aquisicao-de-luminarias-led>. Acesso em: 21 set. 2020.

CBIE, Centro Brasileiro de Infraestrutura. **Como a eletricidade é consumida no Brasil?** 2020. Disponível em: <https://cbie.com.br/como-a-eletricidade-e-consumida-no-brasil>. Acesso em: 18 set. 2020.

DALLABRIDA, Emanuel Cristiano; GONÇALVES, Claudia Maria; PIOVESAN, Tenile Rieger. Análise comparativa da eficiência energética em lâmpadas incandescentes, fluorescentes e led. In: XXIII Seminário de Iniciação Científica, 23., 2015, Ijuí. **Proceedings [...]**. Ijuí: Unijui, 2015. p. 1-6. Disponível em: <https://docplayer.com.br/25603151-Analise-comparativa-da-eficiencia-energetica-em-lampadas-incandescentes-fluorescentes-e-led-1-1.html>. Acesso em: 21 out. 2020.

FARINA, Jocimar. **Justiça manda, novamente, prefeitura reconsiderar decisão sobre PPP da iluminação de Porto Alegre. Zero Hora**. Porto Alegre, p. 1-1. 1 abr. 2020. Disponível em: <https://gauchazh.clicrbs.com.br/porto-alegre/noticia/2020/04/justica-manda-novamente-prefeitura-reconsiderar-decisao-sobre-ppp-da-iluminacao-de-porto-alegre-ck8hcyzxs00f001pmvnnisudu.html>. Acesso em: 14 out. 2020.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

G1. **Trio ganha Nobel de Física por viabilizar uso de LED para iluminação**. 2014. Disponível em: <http://g1.globo.com/ciencia-e-saude/noticia/2014/10/trio-ganha-nobel-de-fisica-por-invencao-de-luz-que-economiza-energia.html>. Acesso em: 04 nov. 2020.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades e Estados**. 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rs/xangri-la.html>. Acesso em: 13 nov. 2020.

KASSAI, José Roberto. Conciliação entre a TIR e ROI: uma abordagem matemática e contábil do retorno do investimento. **Cad. estud.** São Paulo, n. 14, p. 1-29, Dec. 1996. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-92511996000200003. Acesso em: 01 dez. 2020.

LIMA, Renato F. Boreal Led. **A história da lâmpada elétrica: lâmpada incandescente**. Lâmpada incandescente. 2016. Disponível em: https://www.borealled.com.br/historia-lampada-eletrica-incandescente?fb_comment_id=1088456464596644_1506326046143015. Acesso em: 4 nov. 20.

LIMA, Renato F. **O que é LED?** A história do Diodo Emissor de Luz. 2018. Disponível em: <https://blog.borealled.com.br/o-que-e-led/>. Acesso em: 04 nov. 2020.

LINCK, Daniel Altenhofer. **Estudo de viabilidade de otimização de sistemas de iluminação pública: automação de luminárias**. 2021. 51 f. Monografia (Graduação) - Curso de Tecnólogo em Automação Industrial, Universidade Estadual do Rio Grande do Sul - Uergs, Porto Alegre, 2021. Disponível em: <https://repositorio.uergs.edu.br/xmlui/handle/123456789/1620>. Acesso em: 30 jun. 2023.

MARTINS, Gustavo. **Farroupilha implementa projeto de modernização da iluminação pública com LED: a operação, que custou cerca de R\$ 1,2 milhão, tem previsão de ser finalizada em novembro**. **Pioneiro**. Caxias do Sul, p. 1-1. 7 out. 2020. Disponível em: <http://pioneiro.clicrbs.com.br/rs/geral/noticia/2020/10/farroupilha-implementa-projeto-de-modernizacao-da-iluminacao-publica-com-led-14228922.html>. Acesso em: 14 out. 2020.

MINISTÉRIO DA CIDADANIA. **Conheça os diferentes tipos de lâmpadas**. 2020. Disponível em: <https://museuweg.net/blog/conheca-os-diferentes-tipos-de-lampadas/>. Acesso em: 04 nov. 2020.

PINTO, Milena Faria. **Sistema inteligente para monitoração, gerenciamento e controle de iluminação pública e análise de parâmetros da rede elétrica**. 2015. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufjf.br/jspui/handle/ufjf/361>. Acesso em: 21 out. 2020.

PORTO ALEGRE. Jackson Lagoas. Gabinete do Prefeito. **Porto Alegre inicia modernização do parque de iluminação pública**. 2020. Disponível em: <https://prefeitura.poa.br/gp/noticias/porto-alegre-inicia-modernizacao-do-parque-de-iluminacao-publica>. Acesso em: 14 out. 2020.

QUALIDADEONLINE. **As lâmpadas incandescentes vão sair do mercado em 2016.** 2011. Disponível em: <https://qualidadeonline.wordpress.com/2011/02/15/>. Acesso em: 04 nov. 2020.

RAMLÍ, N. L.; YAMIN, N. Mohd; GHANI, S. Ab; SAAD, N. Md.; SHARIF, S. A. Md. Implementation of passive infrared sensor in street lighting automation system. **ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences**, [s. l], v. 10, n. 22, p. 17120-17126, dez. 2015. Disponível em: http://www.arpnjournals.org/jeas/research_papers/rp_2015/jeas_1215_3138.pdf. Acesso em: 14 set. 2020.

REIS, Fábio dos. **Como funciona um LED** – Diodo Emissor de Luz. 2019. Disponível em: <http://www.bosontreinamentos.com.br/eletronica/curso-de-eletronica/como-funciona-um-led-diodo-emissor-de-luz/>. Acesso em: 04 nov. 2020.

REIS, Tiago. **Payback**: entenda como calcular o prazo de retorno de um investimento. 2019. Disponível em: <https://www.sunoresearch.com.br/artigos/payback/>. Acesso em: 01 dez. 2020.

RODRIGUES, Leandro. **Cidades gaúchas são habilitadas para projetos de iluminação pública. Zero Hora.** Porto Alegre, p. 1-1. 3 jun. 2020. Disponível em: <https://gauchazh.clicrbs.com.br/geral/noticia/2020/06/cidades-gauchas-sao-habilitadas-para-49projetos-de-iluminacao-publica-ckazzur6x00jy015nomqrsq50.html>. Acesso em: 14 out. 2020.

SUPER INTERESSANTE. **Como funciona a lâmpada fluorescente?** 2011. Disponível em: <https://super.abril.com.br/mundo-estranho/como-funciona-a-lampada-fluorescente/>. Acesso em: 04 nov. 2020.

WAIDE, Paul. **Phase out of incandescent lamps**: implications for international supply and demand for regulatory compliant lamps. 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1787/5kmh3nhp62s0-en>. Acesso em: 10 out. 2020.

WAYMOUTH, J. F., LEVIN, R. E. **Designers Handbook, Light Sources and Applications.** Sylvania GTE Products, Danvers, 1980.

13

ESTUDO PRELIMINAR DE SUPERVISÃO DE SISTEMAS DE MANUFATURA A PARTIR DE COMPARTILHAMENTO DE DADOS DE PRODUÇÃO EM NUVEM

Élio Cardoso Júnior

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo sintetiza o trabalho de conclusão de curso de Cardoso Júnior (2021), ao investigar a compartilhamento de dados de produção em nuvem, provocando a interação no sistema produtivo.

A realização deste trabalho surge para auxiliar as indústrias a supervisionar seus sistemas de manufatura, de modo mais prático e simplificado, através de um protótipo de compartilhamento de dados de produção em nuvem, para garantir um melhor desempenho.

De acordo com Barros (2000), devido ao mercado competitivo e globalizado da atualidade, tem sido cada vez maior o interesse da ciência e dos empresários no campo industrial, em sistemas de produção mais produtivos e automatizados.

Além disso, segundo Furtado e Carvalho (2005), já existem um número grande de tecnologias para a implementação de serviços de comunicação distribuídos. Entretanto, o investimento financeiro neste tipo de aplicação pode variar consideravelmente. Grande parte das empresas, sobretudo aquelas que não têm condições de arcar com altos investimentos, estão em busca de soluções viáveis de alto desempenho e custos baixos. Neste contexto, a internet surge como a melhor solução em termos de infraestrutura de comunicação, por ser uma rede pública, não envolver altos custos, ser flexível, possuir portabilidade e ser capaz de encapsular protocolos para organizar e acessar dados.

A tecnologia de armazenamento de dados em nuvem também vem sendo utilizada para simplificar o acesso aos dados. De acordo com Sousa *et al.* (2010), na computação em nuvem os recursos de TI (Tecnologia da Informação), são fornecidos como serviços, permitindo que os usuários o acessem sem a necessidade de conhecimento sobre a tecnologia utilizada. Desse modo, os usuários e as empresas passam a acessar os serviços sob demanda e independentemente da localização, o que aumentou a quantidade de serviços disponíveis. Ainda conforme os autores, os usuários estão movendo seus dados e aplicações para a nuvem e assim podem acessá-los de forma simples e de qualquer local.

Conforme citado por Silva e Salvador (2004), sistemas supervisórios permitem que sejam monitoradas e rastreadas informações de um processo produtivo ou instalação física. Tais informações são coletadas através de equipamentos de aquisição de dados e, em seguida, manipulados, analisados, armazenados e, posteriormente, apresentados ao usuário. Estes sistemas também são chamados de SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*).

Atualmente, os sistemas de automação industrial utilizam tecnologias de computação e comunicação para automatizar a monitoração e controle dos processos industriais, efetuando coleta de dados em ambientes complexos, eventualmente dispersos geograficamente, e a respectiva apresentação de modo amigável para o operador, com recursos gráficos elaborados em IHM (Interfaces Humano-Máquina) e conteúdo multimídia.

O uso de IoT (*Internet of Things*), também é uma tecnologia aliada a um melhor desempenho na troca de informações entre coisas e em ambientes complexos. Conforme Magrini (2018), todos os dias, “coisas” se conectam à internet com capacidade para compartilhar, processar, armazenar e analisar um volume enorme de dados entre si. A Internet das Coisas é um paradigma que vem ganhando espaço rapidamente no cenário moderno das telecomunicações *wireless*, segundo Atzori, Iera e Morabito (2010).

Portanto, este trabalho tem o intuito de abordar um estudo preliminar de supervisão de sistemas de manufatura a partir de compartilhamento de dados de produção em nuvem.

Um dos grandes problemas da supervisão de sistemas produtivos é o fato que requerem conexões dedicadas com cada computador, além de acesso ao programa de gestão da máquina, dificultando a abrangência de supervisão.

Jurizato e Pereira (2002) descrevem que com o preço dos equipamentos de informática em queda, a indústria tem optado pela automação de processos via

computador. Essa automação é feita por equipamento específico chamado CLP (Controlador Lógico Programável). Como normalmente não existe uma interface entre operador de processo e CLP, usa-se um microcomputador da família PC com *software* específico para esta comunicação.

Conforme Sousa (2004), há um outro problema, que consiste na dificuldade de interconectividade entre os sistemas de fabricantes diferentes. Este problema é fortemente vinculado ao protocolo de comunicação e sua implementação, não permitindo que o usuário implemente novos módulos de controle, que não pertençam ao fabricante, ou até ao mesmo modelo do sistema principal.

Os motivos citados justificam um estudo de solução a este problema, de forma a permitir o acesso a dados de manufatura, sem a necessidade de intervir nos programas de controle das máquinas, e com funcionalidades de mobilidade e escalabilidade.

A hipótese para solução do problema é o uso de tecnologia de IoT em cada ponto de acesso a dados, com protocolo MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*), que permite emitir dados formatados, podendo serem recolhidos por um sistema supervisor no mesmo protocolo, sem impactar o programa de gestão da máquina. Além disso, possibilitam que um maior número de pessoas tenha acesso aos dados, de forma fácil, como por exemplo um *smartphone*.

Conforme Martins e Zem (2015), a ideia do IoT consiste em poder conectar uma variedade de objetos sensores, *smartphones*, computadores e até objetos de uso mais comum, entre si. Estes objetos geram um fluxo de dados e a conexão permite que eles transmitam estes dados para outro objeto no meio, formando assim a Internet das Coisas.

Torres *et al.* (2016), relatam que o protocolo MQTT foi criado pela IBM, em 1999. É um protocolo aberto de mensagens, projetado para comunicação M2M, na qual deve lidar com alta latência, instabilidade na comunicação e baixa largura de banda. O protocolo MQTT adota o meio de comunicação TCP e o padrão de mensagens *publisher/subscriber* (publicador/assinante), em que todos os dados são enviados para um intermediário, chamado *broker*, que se encarrega de enviar as mensagens aos destinatários corretos. Esta estrutura permite desacoplar o produtor do cliente, assim, apenas o endereço do *broker* precisa ser conhecido, possibilitando a comunicação de um para um, um para muitos ou muitos para muitos.

O objetivo geral do trabalho foi o desenvolvimento de um estudo preliminar de supervisão de sistemas de manufatura a partir de compartilhamento de dados de produção em nuvem, através da montagem de um protótipo funcional para avaliar as

funcionalidades de supervisão por IoT, utilizando o protocolo de comunicação MQTT e a internet *Wi-Fi* como meio.

Para atingir esta demanda, os objetivos específicos se apresentam como método para segmentar o objetivo principal que é proposto, de forma a reger as atividades, sendo eles:

- a) estudar os protocolos para compartilhamento de dados em nuvem;
- b) estudar a aquisição de dados na máquina via IoT;
- c) definir um método para coleta de dados de manufatura industrial e disposição em nuvem;
- d) implementar um protótipo funcional para validar a hipótese do trabalho;
- e) analisar os resultados da implantação do protótipo frente a um sistema SCADA convencional;
- f) divulgar os resultados.

Como resultados, se espera obter os dados de produção que serão coletados em diferentes pontos da manufatura e disponibilizados em nuvem, facilitando a coleta deles por um sistema supervisão, evitando a necessidade de acesso ao programa de gestão da máquina e permitindo a mobilidade tanto dos coletores de dados quanto do sistema supervisão, por utilizar acesso à internet via *Wi-Fi* como meio, valendo-se da Internet das Coisas.

Machado (2018), relata que o termo internet surgiu em meados de 1983, quando a ARPANET foi dividida em duas partes, a MILNET (*Military Network*), utilizada para fins militares, e uma versão civil da ARPANET. A palavra foi usada inicialmente para se referir de forma fácil à junção dessas duas redes, à sua *internetworking*. Devido à complexidade dos elementos envolvidos em sua implementação, não havia perspectiva de crescimento para a internet. Porém, no início da década de 1990 ela foi liberada para utilização comercial e já no fim dos anos 90 e início dos anos 2.000, o número de computadores conectados cresceu significativamente. Morais *et al.* (2012, p.42), definem a internet como:

[...] uma rede mundial de computadores ou terminais ligados entre si, que tem em comum um conjunto de protocolos e serviços, de uma forma que os usuários conectados possam usufruir de serviços de informação e comunicação de alcance mundial.

Conforme Santos *et al.* (2016), a Internet das Coisas (do inglês *Internet of Things* - IoT) surgiu dos avanços de várias áreas como, sistemas embarcados, microeletrônica, comunicação e sensoriamento. Em poucas palavras, a Internet das Coisas é uma extensão

da Internet atual, que proporciona aos objetos do dia a dia (quaisquer que sejam), mas com capacidade computacional e de comunicação, se conectarem à Internet. A conexão com a rede mundial de computadores viabilizará, primeiro, controlar remotamente os objetos e, segundo permitir que os próprios objetos sejam acessados como provedores de serviços. Estas novas habilidades, dos objetos comuns, geram muitas oportunidades, tanto no âmbito acadêmico quanto no industrial.

Duas tecnologias de comunicação, entre as várias que podem ser utilizadas para IoT, são a Ethernet e o *Wi-Fi*. O padrão Ethernet (IEEE 802.3) foi oficializado em 1983 pelo IEEE (Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos) e está presente em grande parte das redes locais com fio existentes atualmente. Sua popularidade se deve à simplicidade, facilidade de adaptação, manutenção e custo. Atualmente, existem dois tipos de cabos: par trançado e fibra óptica, que oferecem taxas de comunicação diferentes. O uso do padrão Ethernet é sugerido para dispositivos fixos, sem mobilidade.

A tecnologia *Wi-Fi* é uma solução de comunicação sem fio bastante popular, pois está presente nos mais diversos lugares, fazendo parte do cotidiano de casas, escritórios, indústrias, lojas comerciais e até espaços públicos das cidades. Desde o seu lançamento em 1997, já foram propostas novas versões do padrão IEEE 802.11 e, atualmente, a versão IEEE 802.11AC prevê taxas de comunicação de 600Mbps ou 1.300Mbps. O *Wi-Fi* foi desenvolvido como uma alternativa ao padrão cabeado Ethernet e possui algumas vantagens, como alcance de conexão e vazão. O que o torna adequado para navegação na internet em dispositivos móveis, como *smartphones* e *tablets*. A principal desvantagem do *Wi-Fi* é o maior consumo de energia, quando comparado com outras tecnologias de comunicação sem fio.

Para Machado (2018), foi em 1970 que o primeiro protocolo foi finalizado, chamado de *Network Control Protocol* (NCP). Após um tempo, um novo protocolo chamado, TCP/IP foi criado para atender uma nova demanda de rede de arquitetura aberta. Ele foi dividido em dois protocolos diferentes, o *Internet Protocol* (IP) que fornecia apenas o endereçamento e o encaminhamento de pacotes e o TCP que se preocupava apenas com funcionalidades como o controle de fluxo e a recuperação de pacotes perdidos. A pilha de protocolos TCP/IP apresentou boa usabilidade e, por esse motivo e por constituir uma arquitetura aberta, passou a ser utilizada por parte significativa dos desenvolvedores e fornecedores de soluções para a internet. Por conta dessa adesão, ela foi adotada como a arquitetura de referência para a internet, permanecendo dessa forma até então.

Há microcontroladores que possuem em seu módulo dispositivos para conexão *Wi-Fi*, e conseqüentemente o acesso à internet. É o caso do módulo microcontrolador ESP8266 NodeMCU.

Conforme Thomsen (2016), o módulo ESP8266 NodeMCU é uma placa de desenvolvimento completa, que além do chip ESP8266 conta com um conversor USB-serial e um regulador de tensão 3,3V. O módulo pode ser encaixado diretamente na matriz de contatos e não necessita de um microcontrolador externo para funcionar. Pode ser facilmente programado em linguagem LUA²⁰. Possui 11 pinos de GPIO, protocolos de comunicação I2C, SPI e PWM, conector micro USB (*Universal Serial Bus*) para programação/alimentação e botões para reset e flash no módulo. A linguagem Lua é uma linguagem de programação poderosa, eficiente e leve, projetada para estender aplicações. Ela permite programação procedural, programação orientada a objetos, programação funcional, programação orientada a dados e descrição de dados. O acesso *Wi-Fi* já vem embutida no próprio chip ESP-12E.

Oliveira (2017), descreve que o microcontrolador ESP8266 da Espressif é um circuito totalmente integrado, com interfaces de I/O digitais e analógicas e, ainda, interface de rede *Wi-Fi*, com um processador de 32bits, com frequência de relógio de 160MHz. O IDE (*Integrated Development Environment*) do Arduino pode ser usado para programar o módulo NodeMCU, ou qualquer módulo que utilize o microcontrolador ESP8266. E a maior parte dos exemplos e programas disponíveis para o Arduino pode também ser compilada e carregada nos módulos com esse microcontrolador. É necessário observar que existem diferenças no *hardware*. A maior delas diz respeito ao número de portas de entrada analógica. Enquanto os módulos Arduino normalmente tem quatro entradas analógicas, o ESP8266 tem apenas uma. A Figura 13.1 demonstra um módulo NodeMCU com ESP8266.

²⁰ Lua é uma linguagem de programação poderosa, eficiente e leve, projetada para estender aplicações. Ela permite programação procedural, programação orientada a objetos, programação. Disponível em: <http://www.lua.org>.

Figura 13.1 – Módulo ESP8266 NodeMCU e sua pinagem



Fonte: Thomsen (2016).

Segundo Locatelli (2020), o módulo ESP8266 NodeMCU, é uma placa microcontroladora que realiza comunicação *Wi-Fi* sem a necessidade do uso de um módulo externo para isso. Na própria placa já vem embutido uma antena para realizar a comunicação por rede de internet *Wi-Fi*. Mas para que haja a conexão é necessário fazer a configuração dos dados de acesso a uma rede de internet no programa. A Figura 13.2 mostra um trecho do programa que faz a conexão com a internet *Wi-Fi*.

Figura 13.2 – Trecho da programação para acesso a uma rede de internet *Wi-Fi*

```
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <PubSubClient.h>

// Update these with values suitable for your network.

const char* ssid = ".....";
const char* password = ".....";
const char* mqtt_server = "broker.mqtt-dashboard.com";
```

Nome da rede Wi-Fi
Senha Wi-Fi
Broker

Fonte: Locatelli (2020).

Mas ter acesso à internet das coisas é só um caminho para troca de dados em um ambiente digital. Faz necessário a definição de um protocolo para que as mensagens sejam trocadas e que façam sentido, em um processo interativo. Uma das formas de se comunicar é com o protocolo MQTT.

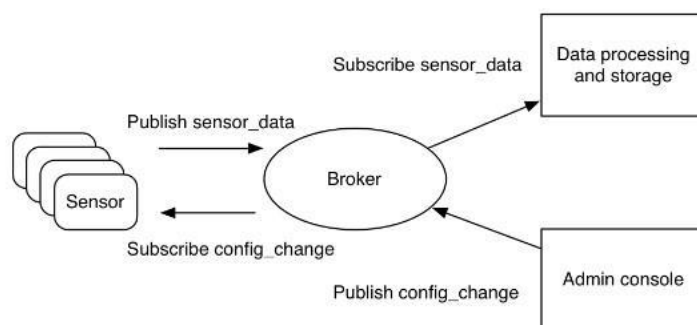
De acordo com Santos *et al.* (2016), o *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT), foi desenvolvido pela IBM no final dos anos 90. É um protocolo projetado para dispositivos extremamente limitados e utiliza a estratégia de *publish/subscribe* para transferir mensagens. O principal objetivo do MQTT é minimizar o uso de largura de banda da rede e recursos dos dispositivos. Além disso, o MQTT provê mecanismos para a garantia de entrega de mensagens. MQTT utiliza os protocolos das camadas de transporte e rede da arquitetura TCP/IP. O cabeçalho do protocolo MQTT pode ter

tamanho fixo (dois bytes) ou variável. O MQTT consiste em três componentes básicos: o *subscriber*, o *publisher* e o *broker*.

Inicialmente dispositivos (*subscriber*) se registram a um *broker* para obter informações sobre dados específicos, para que o *broker* os avise sempre que publicadores (*publishers*) publicarem os dados de interesse. Os dispositivos inteligentes (*publishers*) transmitem informações para os *subscriber*, através do *broker*.

A Figura 13.3 ilustra um modelo de publicação e assinatura utilizando o protocolo MQTT para sensores IoT, e nela podem ser visualizadas todas as entidades presentes na comunicação, sendo o *broker*, ao centro, e os clientes ao redor, representados pelos sensores, administradores e armazenadores da rede (Muckenfuhs,2020).

Figura 13.3 – Diagrama de blocos da conexão no protocolo MQTT



Fonte: IBM (2021).

Barros (2015), descreve em seu artigo que a identificação das mensagens no MQTT se dá através de tópicos (*topics*), com níveis separados por barras (“/”). Os elementos da rede podem enviar diversos tópicos para o *broker* e subscritores podem escolher os tópicos que desejam subscrever. Como exemplo, Barros (2015) cita que em uma rede de sensores, com inúmeros sensores distintos de temperatura e umidade, ficam publicando o valor do sensor como dado útil (*payload*) e identificando as mensagens com tópicos nos seguintes formatos:

- a) < area/ID_da_area/sensor/ID_do_sensor/temperatura>;
- b) < area/ID_da_area/sensor/ID_do_sensor/umidade>.

Nesta lógica, as possíveis publicações poderiam ser:

- a) < area/10/sensor/5000/temperatura>;
- b) <area/10/sensor/5000/umidade>;
- c) <area/10/sensor/5001/temperatura>;
- d) <area/20/sensor/4000/temperatura>.

Há informações de duas áreas diferente (10 e 20) sendo geradas por quatro sensores (5000, 5001, 4000, 4001), em que cada sensor publica temperatura e umidade. Qualquer cliente pode assinar estas mensagens, especificando exatamente o tópico que deseja. Normalmente é mais interessante receber informações agrupadas. Por exemplo, para assinar todas as informações dos sensores de temperatura da área 10, o seguinte tópico poderia ser usado: <area/10/sensor/+ /temperatura>.

O “+” tem função de curinga, aceitando qualquer valor naquele nível do tópico. Existe também uma outra notação utilizando o símbolo “#”, que significa “qualquer coisa abaixo de determinado nível do tópico”. Então para ter acesso a qualquer valor de sensoriamento dentro da área 20, o tópico seria: <area/20/sensor/#>. Tópicos que começam com “\$” são considerados especiais, sendo geralmente reservados para uso interno do *broker* (<\$SYS/broker/clientes/total>).

Ainda conforme Barros (2015), a conexão do cliente ao *broker*, seja ele assinante ou publicador, é originalmente feita via TCP, com opções de login (usuário e senha) e uso de criptografia. Todo processo de conexão estabelece também um nível de qualidade de serviço desejado (QoS, de *Quality of Service*), indicando como deve ser a relação entre os elementos comunicantes. Existem três níveis de qualidade de serviço:

- a) QoS 0 (*at most once*): é o que conhecemos como “*best effort*”, ou melhor esforço, que se assemelha ao protocolo de transporte UDP, em que não se tem confirmações de entrega de mensagem, sendo que quem envia também não tem a obrigação de manter a mensagem armazenada para futuras retransmissões;
- b) QoS 1 (*at least once*): neste nível existe a confirmação de entrega de uma mensagem, que atende situações em que quem envia acaba gerando várias mensagens iguais, possivelmente por um atraso na chegada de confirmação de recebimento, garantindo que uma delas terá o reconhecimento realizado, pois existe um armazenamento da mensagem por parte de quem envia, até a posterior confirmação;
- c) QoS 2 (*exactly once*): garante que a mensagem seja entregue exatamente uma vez, com envio de confirmações de recebimento e confirmações de recebimento da confirmação de recebimento. Parece confuso, mas não é, apenas existem confirmações nos dois sentidos, para tudo que é trafegado, em que enquanto uma mensagem não é confirmada, ela é mantida. É um caso mais próximo do protocolo de transporte TCP.

2 METODOLOGIA

Neste trabalho, foi estudado uma forma mais simples e eficiente de fazer com que a supervisão de sistemas de manufatura industrial se torne mais escalável. Em outras palavras, é fazer com que os dados de uma manufatura sejam entregues para um maior número de pessoas que necessitam acessá-los, de forma simples e objetiva, a qualquer hora ou lugar.

Para realizar o trabalho, uma metodologia foi usada para comprovar a eficácia do estudo. Foi utilizada a prototipagem, que é uma forma de transferir ideias no âmbito conceitual para a realidade. O protótipo foi utilizado em um ambiente controlado e testará a veracidade dos dados coletados.

Utilizando IoT em cada ponto de acesso aos dados, com protocolo MQTT, os dados de produção obtidos são compartilhados em nuvem, para que um sistema supervisorio no mesmo protocolo possa capturar as informações, sem impactar o programa de gestão da máquina.

A pesquisa é um experimento de laboratório e tem caráter qualitativa, exploratória e experimental, visto que pretende montar um protótipo em ambiente controlado, observar e analisar o objeto de estudo, buscando explicar o porquê das coisas, exprimindo o que convém ser realizado.

O estudo desenvolvido neste trabalho mostra que o método poderá ser aplicado em qualquer ambiente industrial, contendo linha de produção com ciclos repetitivos, máquinas com ciclos contínuos ou qualquer manufatura que necessite de acesso aos dados de produção. Também pode ser adaptado em ambientes domésticos, visto que a tecnologia utilizada serve para área da domótica²¹.

O presente trabalho visa reunir os métodos aplicados para chegar ao resultado desejado. A primeira ação, foi a construção de um protótipo em uma matriz de contatos, com a finalidade de demonstrar, através de experimentos, as funcionalidades obtidas pelo sistema de monitoramento.

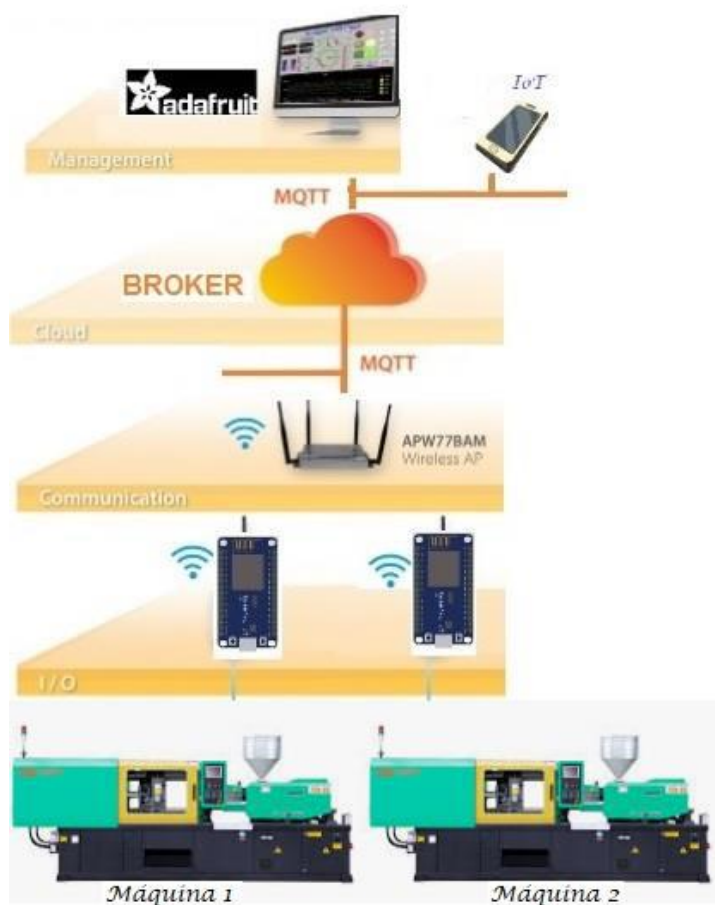
Utilizando o módulo ESP8266 NodeMCU em cada terminal de acesso aos dados, com protocolo MQTT, os dados de produção obtidos através de sensores chegam ao microcontrolador, que se conecta na rede de internet, através de uma rede sem fio, e envia

²¹ Domótica é uma tecnologia recente e é responsável pela automatização de todos os recursos habitacionais.

os dados coletados para um *broker*, responsável por gerir as publicações e as subscrições do protocolo MQTT. Após os dados serem enviados ao *broker*, eles estarão disponíveis e poderão ser acessados por todos os administradores do processo de manufatura a qualquer hora ou lugar, necessitando apenas de um sinal de rede de internet e de um sistema supervisorio, que utiliza o mesmo protocolo de comunicação MQTT, instalado em qualquer computador, *mobile* ou *tablet*.

O sistema supervisorio conta com uma tela gráfica, que foi desenvolvida para que as informações fiquem expostas de forma nítida e de fácil entendimento. Nela é demonstrada todas as informações vindas do início do processo. Caso seja necessária alguma intervenção no processo produtivo, a mesma poderá ser feita através do supervisorio. A Figura 13.4 apresenta um mapeamento de como o método será implementado.

Figura 13.4 – Método a ser utilizado para interação de solicitações da máquina a equipes de manutenção



Fonte: Autor (2021).

Uma vez estando disponíveis várias tecnologias para processos de produção, tratamento das informações e de gestão industrial, especificar as ferramentas adequadas para coleta de dados e monitoramento de chão de fábrica para manufatura discreta, pode se tornar um diferencial competitivo para essas indústrias.

A primeira camada desta metodologia trata de sensoriamento dos equipamentos da manufatura. Os equipamentos que podem ser analisados são diversos, podem ser do mais simples ao mais complexo, como por exemplo uma furadeira convencional que necessite saber quantas peças são furadas por hora. Para coletar esta informação, seria necessário apenas um sensor com sinal digital, que acionaria quando a peça passasse pelo seu campo de atuação, ele emite a resposta a um impulso de forma binária, sim ou não, 0 ou 1, ligado ou desligado. O sinal vai para o microcontrolador, que faz o processamento do dado de acordo com o programa implementado. Os sensores digitais mais comuns utilizados nas indústrias são do tipo indutivo, capacitivo, magnético e fotoelétrico.

Em máquinas um pouco mais complexas como prensas, injetoras, fornos contínuos ou máquinas CNC (Controlador Numérico Computadorizado) se pode obter informações como variação de nível, temperatura, humidade, pressão, velocidade, fluxo e variação de posição, através de sensoriamento com sinal analógico, que geram respostas elétricas que variam dentro de uma faixa de atuação determinada, e podem ter qualquer valor dentro dela. Existem uma vasta gama de sensores analógicos no mercado industrial. Os mais utilizados são potenciômetros, acelerômetro, flexores, piezoelétrico e ultrassom.

Na segunda camada de aplicação da metodologia se tem o microcontrolador. Esse componente tem a finalidade de receber o sinal vindo dos sensores para fazer o processamento e depois enviá-los ao destino que lhe foi definido. Existem diversas placas de desenvolvimento microcontroladas hoje em dia, uma das mais comuns são, Arduino uno, Raspberry pi e ESP8266 NodeMCU. Todos têm características semelhantes, mas em cada uma delas existem peculiaridades que devem ser levadas em consideração na escolha para o projeto.

A terceira camada se refere a comunicação da segunda camada com a rede de internet, este meio de transmissão pode ser feito através de cabo com pares de fios, cabo coaxial, fibra óptica, transmissão por satélite e transmissão sem fio, sendo o *Wi-Fi* o mais usado para esse tipo de transmissão.

A quarta camada é onde os dados podem ficar armazenados em uma memória. Como a metodologia do projeto trata de compartilhamento de dados em nuvem, se pode destacar a existência de várias plataformas que realizam estes serviços de *broker*, como

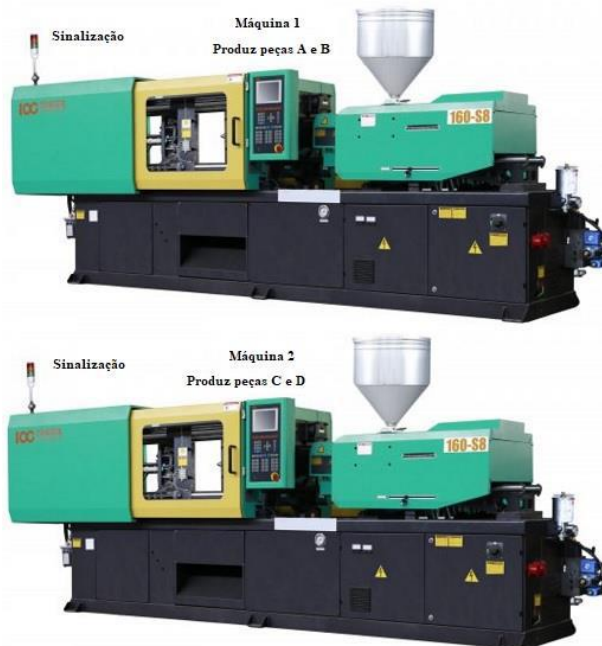
HiveMQ, Mosquitto e Adafruit, estes são apenas algumas das opções de serviços de compartilhamento de dados em nuvem, que atuam nesta camada agenciando as mensagens (*brokers*), se limitando a conduzi-las a um destino, quando requerido seu recebimento.

A quinta e última camada destina-se a plataforma de interação do humano com os dados da manufatura. Nestes aplicativos são construídos *dashboards*, que são painéis de controle que expõe informações de forma simplificada e ajudam na tomada de decisões rápida em um negócio. Se pode destacar alguns aplicativos que disponibilizam *dashboards*, como o Elipse, Eclipse, Adafruit I/O e MQTT Dash. Alguns já estão disponíveis na versão para Android.

3 RESULTADOS E ANÁLISE

O cenário de ensaio em que os resultados são obtidos, refere-se a uma célula de produção fabril com duas máquinas injetoras, em que a coleta dos dados de produção era feita de forma manual. Isso deixa a supervisão da manufatura deficiente de dados, que são de extrema importância. A Figura 13.5 mostra o tipo de máquina utilizada no cenário de ensaio.

Figura 13.5 – Imagem das máquinas injetoras da produção



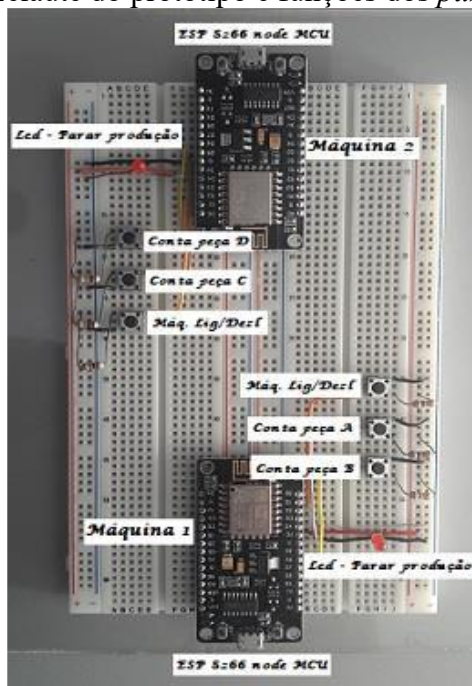
Fonte: Autor (2021).

Aqui serão chamadas de Máquina 1 e Máquina 2, em que cada uma delas será monitorada através de sensores, que enviam sinais digitais até o módulo ESP8266 NodeMCU, devidamente programado para fazer a interatividade de comunicação com o *broker*, que neste caso é o da Adafruit IO. Utilizando a comunicação com protocolo MQTT e por meio de transmissão via rede de internet *Wi-Fi* a comunicação acontece de forma simples.

No projeto os botões (*push buttons*) fazem o papel dos sensores, simulando as entradas digitais, e o LED indicará a saída digital acionada. Os sinais monitorados serão iguais para as duas máquinas e farão as leituras de máquina ligada/desligada e contagem de peças, conforme o acionamento do *push button*, relacionado a cada peça. Na Máquina 1 podem ser produzido dois tipos de peças, denominadas de A e B. Na Máquina 2 as peças que podem ser produzidas são chamadas de C e D. O LED vermelho, enquanto ligado, indica para produção que a máquina deve ficar parada, pois é uma ordem que vem diretamente da gestão.

A Figura 13.6 mostra a configuração da montagem do circuito realizada na matriz de contatos com as funções de cada *push button* e do LED. O módulo ESP8266 NodeMCU foi utilizado por possuir alta velocidade de processamento, boa capacidade de comunicação por meio da rede de internet *Wi-Fi* e fácil programação através da IDE do Arduino.

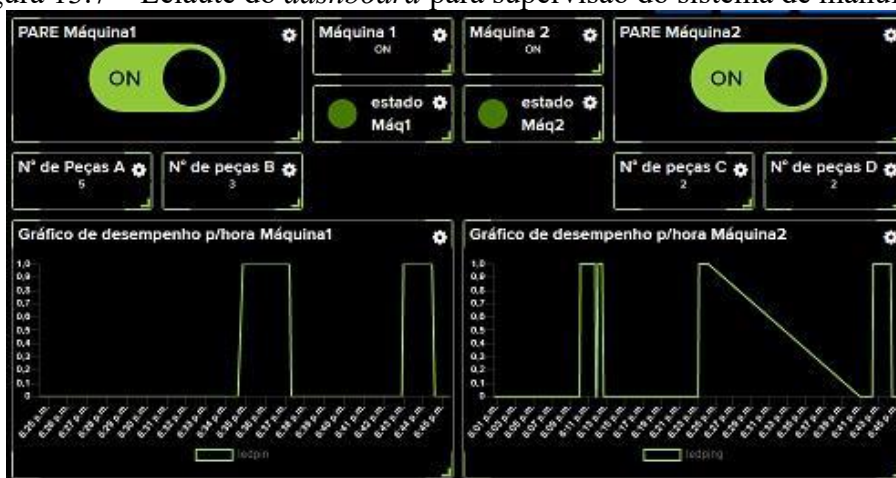
Figura 13.6 – Leiaute do protótipo e funções dos *push button* e LED



Fonte: Autor (2021).

O comando de acionamento do LED de parada da máquina e visualização das outras variáveis de processo, é determinado e monitorado pela gestão de supervisão da produção. O acompanhamento do processo produtivo das duas máquinas é feito simultaneamente na plataforma da Adafruit IO, através de um painel de controle gráfico (*dashboard*), que foi desenvolvido especificamente para expor as informações de forma simples e objetivas. A Figura 13.7 mostra a *dashboard* elaborada para o monitoramento simultâneo dos dados de produção das duas máquinas injetoras.

Figura 13.7 – Leiaute do *dashboard* para supervisão do sistema de manufatura



Fonte: Autor (2021).

A tela de monitoramento ficou dividida na região central e cada lado monitora os dados de suas respectivas máquinas. Sendo que no lado esquerdo está a máquina 1 e no lado direito a máquina 2.

Na parte superior esquerda da dashboard há um botão (ON/OFF) virtual (*toggle*), quando ele é acionado, liga um LED de sinalização vermelho na máquina, para informar que a mesma deve permanecer parada, ou sem necessidade de produzir.

Abaixo desse botão, há dois mostradores que registram a quantidade de peças A e B produzidas. O valor vai sendo incrementado através do acionamento do *push button*, que está fazendo o papel de sensor de contagem, de acordo com a produtividade da máquina.

Logo abaixo, o gráfico registra o tempo de produtividade e ociosidade da máquina. Na parte superior central, fica localizado um mostrador textual, que altera sua escrita de ON para OFF, conforme o estado em que a máquina se encontra, informando se ela realmente está ligada ou desligada.

Finalmente, se tem um sinalizador que muda a cor conforme o estado da máquina, verde para máquina ligada e vermelho para máquina desligada, tendo como função auxiliar visualmente a parada da máquina.

Os mesmos dados se repetem para o monitoramento da máquina 2. Ambas têm os mesmos processos, a única diferença é a peça produzida, que no caso da máquina 2 é fabricada a peça C e D.

Também foram criados mais dois *dashboard*, um para cada máquina, em que se pode analisá-los separadamente. Através da tela *dashboard* também se pode implementar outras funcionalidades, de acordo com a necessidade da gestão. A Figura 13.8 mostra a configuração das outras telas desenvolvidas.

Figura 13.8 – *Dashboard* específica para cada máquina



Fonte: Autor (2021).

A plataforma Adafruit IO permite o acesso as telas *dashboard*. O *login* é simples e pode ser feito de qualquer computador, celular ou *tablet*. Além de múltiplos pontos de acesso simultâneos para mesma tela de informações, que só é possível por utilizar protocolo de comunicação MQTT. A plataforma também permite o monitoramento a qualquer hora ou local, desde que haja uma rede de internet.

Após o protótipo ter sido montado e submetido aos testes de simulação do ambiente fabril em um ambiente controlado, foi possível constatar que houve um funcionamento satisfatório, pois os dados amostrados, que é a tela do sistema supervisorio, em que as informações vindas do *broker* são visualizadas e lidas instantaneamente. Tendo em vista que, a proposta do trabalho é o estudo preliminar de

supervisão de sistemas de manufatura a partir do compartilhamento de dados de produção em nuvem.

Utilizando técnicas semelhantes aos trabalhos de desenvolvimento de supervisor, visando a integração entre variáveis Fieldbus e de sistemas de aquisição de dados, do autor Cardoso *et al.* (2020) e também do trabalho de Sistemas Ciber-físicos aplicado ao chão de fábrica com aquisição de dados para armazenamento em nuvem para aplicação na estrutura da indústria 4.0, dos autores Lopes, Mendes e Conceição (2017), foi possível desenvolver e simular o protótipo, que apresentou um avanço para o controle da gestão de produção, se comprovando como um poderoso instrumento que facilitará a disponibilidade de informações importantes para a cadeia de gestão. Podendo tomar decisões sobre a manufatura que está sendo analisada, independentemente do local onde se encontrem, mantendo a sequência de atividades produtivas da empresa do melhor modo possível.

Comparando a execução deste projeto com a prática utilizada para aquisição dos dados anteriormente, no nosso cenário de ensaio, compõe-se a Tabela 13.1, que traz esta análise comparativa.

Tabela 13.1 – Comparação da coleta de dados manual e protótipo desenvolvido

Parâmetros comparados	Coleta dados manual	Coleta dados protótipo
Tempo de máquina parada	Inexistente	Indicado no gráfico
Tempo de máquina produzindo	Inexistente	Indicado no gráfico
Número de peças produzidas	Anotação horária pelo operador	Dado indicado a cada peça produzida
Disponibilidade de visualização dos dados	Horária	Enquanto equipamento estiver ligado
Erro na coleta dos dados	Existente	Inexistente
Erro no lançamento dos dados	Existente	Inexistente
Manipulação dos dados	Existente	Inexistente
Forma de visualização dos dados	Folha impressa	Tela gráfica interativa

Fonte: Autor (2021).

Analisando as diferenças, se pode confirmar que a funcionalidade do protótipo conseguiu suprir a carência de aquisição e supervisão dos dados na manufatura. Tendo em vista que anteriormente existia pouca coleta de informações de produção, e no novo cenário implementado houve um aumento significativo de parâmetros a serem analisados, bem como a mobilidade e a facilidade da leitura e interpretação deles, devido a tela de monitoramento gráfico.

Todos os equipamentos e recursos utilizados na construção do protótipo, como módulo ESP8266 NodeMCU, o agente de entrega e recebimento (*Broker*) e a plataforma de acesso as *dashboards*, ambas da empresa Adafruit, demonstraram um bom funcionamento, pois se mantiveram estável em toda simulação, não apresentando nenhuma perda na coleta de dados.

O módulo ESP8266 NodeMCU, se confirmou como uma ferramenta muito útil, pois já vem com uma tecnologia embarcada para acessar a rede de internet *Wi-Fi* e seu preço de mercado é competitivo. Tornando-se uma opção viável para instalação em larga escala na indústria. Porém tem limitações quanto ao número de entradas analógicas, contendo apenas uma.

O *software* desenvolvido tem algumas limitações, por ser a versão gratuita, mas cumpriu com êxito todas as funções destinadas para o trabalho.

Este protótipo tem possibilidade de ser implementado em outros ramos como, comércio, agroindústria e nas automações residenciais, pois tem grande facilidade de adaptação em cada cenário.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi realizado o estudo preliminar de supervisão de sistemas de manufatura a partir de um protótipo de compartilhamento de dados em nuvem, tendo em vista que muitas empresas obtêm pouca aquisição das informações do seu processo produtivo, além da impossibilidade de escalabilidade e da mobilidade do supervisionamento do sistema da manufatura.

Como solução para essa problemática foi desenvolvido e testado um protótipo funcional que coleta as informações do processo de produção e os envia para um agenciador (*broker*), que fica na rede internet. Em seguida, roteia essas mensagens para os clientes *subscribers*, caso eles tenham assinado o mesmo tópico para receber as mensagens. Tudo é feito sem a necessidade de intervenção ao *software* original da máquina, pois é um protótipo completamente evasivo.

O protótipo utiliza o módulo ESP8266 NodeMCU, que em todo o período de simulação alcançou a maioria dos resultados esperados, coletando a quantidade de peças

produzidas de acordo com cada modelo, o status de máquina e a indicação de parada da máquina por ordem da supervisão.

A interface gráfica (*dashboard*), facilitou a visualização e a interpretação das informações coletados. Além disso, por meio de um gráfico, apresenta em uma escala de 24 horas o tempo em que a máquina trabalhou ou ficou parada. Foram encontradas algumas limitações para criação das *dashboards*, pois o modelo gratuito que a plataforma da Adafruit IO disponibiliza, bloqueia algumas funções e ferramentas de desenvolvimento.

A comunicação por meio de internet *Wi-Fi*, aliado com o uso do protocolo MQTT, se mostrou extremamente útil, tendo em vista que não é necessário a utilização de cabos para realizar comunicação entre os equipamentos e o próprio dispositivo *mobile* pode servir como roteador do sinal de rede de internet. Conseqüentemente ajudando na mobilidade e na escalabilidade de quem recebe as informações com dados lançados instantaneamente, evitando erros de coletas.

Como possibilidades para o futuro, poderá ser realizada a implementação de monitoramento para outras áreas da manufatura, como por exemplo para o setor de manutenção, que receberá um chamado instantâneo direto da máquina que necessita de reparos, agilizando o processo de manutenção e conseqüentemente o processo produtivo da manufatura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ATZORI, Luigi; IERA, Antonio; MORABITO, Giacomo. The Internet of things: a survey. **The International Journal of Computer and Telecommunications Networking**. Amsterdam, p. 2787-2805. out. 2010. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389128610001568>. Acesso em: 18 abr. 2021.

BARROS, Marcelo. **MQTT – Protocolos para IoT**. 2015. Disponível em: <https://www.embarcados.com.br/mqtt-protocolos-para-iot/>. Acesso em: 04 maio 2021.

BARROS, Tomaz de Carvalho. **Supervisão de Sistemas de Produção Baseada em Redes de Petri**. 2000. 152 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 2000. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/3461>. Acesso em: 17 abr. 2021.
CARDOSO, Lucas Braga; TORRES, André Gomes; MOITINHO, Amanda Bomfim; MOREIRA, Kétia Soares. **Desenvolvimento de Supervisório Visando a Integração**

Entre Variáveis Fieldbus e de Sistemas de Aquisição de Dados. Brazilian Journal of Development, [S.L.], v. 6, n. 9, p. 70684-70694, 2020. Brazilian Journal of Development. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv6n9-496>. Acesso em: 17 abr. 2021.

CARDOSO JÚNIOR, Élio. **Estudo preliminar de supervisão de sistemas de manufatura a partir de compartilhamento de dados de produção em nuvem.** 2021. 51 f. Monografia (Graduação) - Curso de Tecnólogo em Automação Industrial, Universidade Estadual do Rio Grande do Sul - Uergs, Porto Alegre, 2021. Disponível em: <https://repositorio.uergs.edu.br/xmlui/handle/123456789/1778>. Acesso em: 30 jun. 2023.

FURTADO, Pythagoras Grangeiro; CARVALHO, Marcius Fabius Henriques de. Compartilhamento da informação como elemento de coordenação da produção em cadeia de suprimento. **Gestão & Produção**, [S.L.], v. 12, n. 1, p. 39-53, abr. 2005. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0104-530x2005000100005>. Acesso em: 17 abr. 2021.

JURIZATO, Luís Augusto; PEREIRA, Paulo Sérgio R. Sistemas Supervisórios. **Network Technologies**, Nova Odessa, v. 1/2, n. 1/2, p. 105-114, jul. 2002. Disponível em: https://www.protcom.net/Literatura/SCADA/NOTAS%20T%C3%89CNICAS/NT_SISTEMAS%20SUPERVIS%C3%93RIOS.pdf. Acesso em: 18 abr. 2021.

LOCATELLI, Caroline. **Desenvolvimento de dashboard MQTT com Adafruit. IO.** 2020. Disponível em: <https://www.curtocircuito.com.br/blog/Categoria%20IoT/desenvolvimento-de-dashboard-mqtt-com-adafruitio>. Acesso em: 21 abr. 2021.

LOPES, William Aparecido Celestino; MENDES, Cleiton Rodrigues; MARIO, Maurício Conceição. **Sistema cyber-físico aplicado ao chão de fábrica com aquisição de dados para armazenamento em nuvem para aplicação na estrutura da indústria 4.0.** 2017. Disponível em: <https://periodicos.unisanta.br/index.php/ENPG/article/view/1105/1034>. Acesso em: 17 jun. 2021.

MACHADO, Kétly Gonçalves. **Estudo de caso para identificação de elementos e funcionalidades para uma possível arquitetura de referência para a Internet das Coisas.** 2018. 59 f. Monografia (Graduação) - Curso de Ciência da Computação, Universidade Federal da Fronteira Sul, Chapecó, 2018. Disponível em: <https://rd.uffs.edu.br/handle/prefix/2700>. Acesso em: 20 abr. 2021.

MAGRINI, Eduardo. **A internet das coisas.** Rio de Janeiro: FGV Editor, 2018. 192 p. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=qYtIDwAAQBAJ>. Acesso em: 17 abr. 2021.

MORAIS, C. T. Q. de; LIMA, J. V. de; FRANCO, S. R. K. **Conceitos sobre Internet e Web.** Porto Alegre: UFRGS, 2012. 112 p. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/tri/sead/publicacoes/documentos/livro-conceito-internet-e-web>. Acesso em: 03 maio 2021.

MARTINS, Ismael Rodrigues; ZEM, José Luís. Estudo dos protocolos de comunicação MQTT e COaP para aplicações machine-to-machine e Internet das coisas. **Revista Tecnológica da Fatec Americana, Americana, Americana**, v. 3, n. 1, p. 64-87, mar. 2015. Disponível em: http://www.fatec.edu.br/revista_ojs/index.php/RTecFatecAM/article/view/41/50. Acesso em: 17 abr. 2021.

MUCKENFUHS, Fábio. **Desenvolvimento de um Sistema de Monitoramento e Controle de Processos Produtivos a Partir do Conceito de IoT**. 2020. 94 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – Unijuí, Ijuí, 2020. Disponível em: <https://bibliodigital.unijui.edu.br:8443/xmlui/bitstream/handle/123456789/6850/F%c3%a1bio%20Muckenfuhs.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 20 abr. 2021.

OLIVEIRA, Sérgio de. **Internet das Coisas com ESP8266, Arduino e Raspberry Pi**. São Paulo: Novatec, 2017. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=E8gmDwAAQBAJ>. Acesso em: 21 abr. 2021.

SANTOS, Bruno P.; SILVA, Lucas A. M.; CELES, Clayson S. F. S.; BORGES, João B. NETO; PERES, Bruna S.; VIEIRA, Marcos Augusto M.; VIEIRA, Luiz Filipe M.; GOUSSEVSKAIA, Olga N.; LOUREIRO, Antônio A. F. In: SANTOS, Bruno P. *et al.* **Internet das Coisas: da Teoria à Prática**. Belo Horizonte: [s.n]; 2016. p. 1-50. Disponível em: <https://homepages.dcc.ufmg.br/~mmvieira/cc/papers/internet-das-coisas.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2021.

SILVA, Ana Paula Gonçalves da; SALVADOR, Marcelo. **O que são sistemas supervisórios?** 2004. Disponível em: <http://centralmat.com.br/Artigos/Mais/oQueSaoSistemasSupervisorios.pdf>. Acesso em: 17 abr. 2021.

SOUSA, Marco Antonio Baptista de. **Estudo comparativo entre a aplicação de sistemas dedicados e a utilização de controladores lógico-programáveis na automação de sistemas prediais**. 2004. 143 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Construção Civil e Urbana, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-26052004-154102/pt-br.php>. Acesso em: 18 abr. 2021.

SOUSA, Flávio R. C. *et al.* **Gerenciamento de Dados em Nuvem: Conceitos, Sistemas e Desafios**. 2010. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/livros/index.php/sbc/catalog/download/18/81/167-1?inline=1>. Acesso em: 17 abr. 2021.

TORRES, Andrei B. B. *et al.* Análise de Desempenho de Brokers MQTT em Sistema de Baixo Custo. In: XV Workshop em desempenho de sistemas computacionais e de comunicação, 15., 2016, Porto Alegre. **Anais...Workshop em Desempenho de Sistemas Computacionais e de Comunicação (WPerformance)**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação - Sbc, 2016. p. 47-58. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/wperformance/article/view/9727>. Acesso em: 18 abr. 2021.

THOMSEN, Adilson. **Qual módulo ESP8266 comprar?** 2016. Disponível em: <https://www.filipeflop.com/blog/qual-modulo-esp8266-comprar/>. Acesso em: 04 maio 2021.

14

ESTUDO DE SISTEMAS DE NAVEGAÇÃO EM TRANSPORTADORES AUTÔNOMOS

Rafael Pereira Gonçalves

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo sintetiza o trabalho de conclusão de curso de Gonçalves (2021), que investigou o comportamento de veículos guiados de forma autônoma (AGVs).

Com o avanço das tecnologias, com cenários de mercado global cada vez mais competitivos e diante da grande busca mundial por produção a baixo custo, surgem novos meios tecnológicos a fim de otimizar os processos. Um dos métodos aplicáveis para competitividade é o Sistema Flexível de Manufatura (FMS). Um FMS pode ser definido como um grupo de equipamentos ou células de manufatura ligadas por um sistema manipulador ou movimentador de material e outros equipamentos auxiliares controlados por computador (Simões; Vecchia; Silva, 2015).

Este avanço tecnológico que se observa, com a nova política industrial americana, que antes de tudo uma política que tem a inovação como missão, isto é, seu objetivo é aumentar o nível de tecnologia na economia para restaurar sua competitividade (ABDI, 2017)

Um dos grandes conceitos da indústria do futuro é a indústria 4.0 que, de acordo com Pereira e Simoneto (2018, p. 8) “Trata-se de uma revolução dos processos de manufatura, tendo por base, entre outras tecnologias, os sistemas ciber-físicos e a internet das coisas”, diminuindo custo, tempo e remanejando dos funcionários para funções mais críticas.

Segundo Coelho:

O impacto da indústria 4,0 vai além da simples digitalização passando por uma forma muito mais complexa de inovação baseada na combinação de múltiplas tecnologias que forçaram às empresas a repensar a forma como gerem os seus negócios e processos, como se posicionam na cadeia de valor, como pensam-

no desenvolvimento de novos produtos e os introduzem no mercado, ajustando ações de marketing e distribuição (COELHO, 2016, p. 15).

Um dos itens dessas tecnologias, que será retratado nesta monografia, é o transporte por robôs, mais conhecido como transporte por veículos autonomamente guiados (AGVs) e seus paradigmas de controle e sensoriamento. Possuem diversas aplicações e funções dentro da indústria. Conforme afirma Bortolon:

Os veículos guiados automaticamente (AGVS) são componentes chave no ramo da intralogística. Tais sistemas são aplicados na automação de processos, em que há necessidade de movimentação de materiais dentro de indústrias, centros de distribuição e estabelecimentos comerciais. (Bortolon, 2018, p.12).

Ainda conforme afirma Brito, “[...]capaz de seguir rota e realizar a carga e descarga de materiais sem a necessidade de integração humana direta, oferecendo segurança e velocidade em operações contínuas programadas” (Brito; Almeida; Silva; Santiago; Júnior, 2020). Assim sendo, uma ferramenta aliada a produção por sistemas flexíveis de manufatura.

Ha vários tipos de sensoriamento para controle do veículo de transporte autônomo. Aqui se citam alguns comumente usados, sendo eles: por fita reflexiva, sensor óptico, sensor de proximidade (ultrassom), navegação por imagem (câmera), navegação por cabo guia (RF), navegação por SLAM (localização e mapeamento simultâneos) (Ullrich, 2015). Sendo a escolha de qual melhor tipo de sensoriamento, se tornando problema para este trabalho, no qual será realizada a implementação e constatação deles.

Um AGV pode ter muitas rotas, dependendo da finalidade para a qual será usado. Contudo, deve dispor de um circuito de sensoriamento e uma inteligência de controle (Souza; Royer, 2013). Um grande dilema dos modelos de AGVs existentes é sensoriamento, pois faz total papel na eficácia do equipamento, afetando nas tomadas de decisões e robustez do equipamento. Ainda conforme afirmam Jung, Osório, Kelber e Heimen (2005).

Os robôs e veículos móveis devem ser dotados de atuadores, que serão os responsáveis pela execução de suas ações e, principalmente, pelo seu deslocamento no ambiente. Existem diferentes tipos de dispositivos usados na locomoção dos robôs, e conforme a solução/implementação adotada o veículo terá diferentes tipos de comportamento (JUNG *et al.*, 2005, p. 1361).

A percepção é um dos componentes mais importantes para guiar um AGV, pois através dela é possível o referenciamento, ou seja, saber a posição atual do veículo e

consecutivamente a tomada de decisões (JUNG *et al.*, 2005). Um veículo autônomo em conceito não depende de atuação humana para tomada de decisões. Portanto, a escolha do método de sensoriamento e escolha do modelo de controle é de suma importância (Ottoni; Lages, 2003).

Em sistemas de transportadores autônomos são utilizadas tecnologias distintas para navegação e controle, com propósito de manter o transportador na trajetória desejada. Mas decidir o tipo de sensoriamento e o tipo de controle a ser usado é a grande dúvida.

O AGV é uma das tecnologias mais promissoras no transporte de materiais industriais, devido sua agilidade de movimento, eficiência e flexibilidade. Porém, há de verificar suas vantagens antes de implantar tal sistema (Brito; Almeida; Silva; Santiago; Júnior, 2020).

Existem diversos métodos de controle. Todavia, ainda o sistema clássico da família PID (Proporcional, Integral e Derivativo) é um dos mais simples e robustos a serem utilizados, atendendo de forma satisfatória aos problemas de controle de sistemas dinâmicos clássicos propostos (Jung *et al.*, 2005).

Uma caracterização de sensoriamento de sistemas de transporte, através de teste e ensaios, auxilia na tomada de decisão quanto a aplicação de sistemas de transporte autônomo. A partir de testes realizados em ambiente controlado será possível coletar dados, a fim de criar resultados pertinentes para caracterização do veículo de transporte e o seu comportamento no local de trabalho. Métodos usados com diferentes tipos de sensores e modelos de controle clássico, que melhor se adequam a diferentes problemas de navegação levando em consideração a pouca informação do ambiente em que o AGV irá atuar.

Ainda conforme afirmam Jung *et al.* (2005, p. 1.363), “Um sistema robótico móvel pode ter diferentes níveis de autonomia e inteligência, o que será definido pelo tipo de sistema de controle integrado ao sistema”. Ou seja, o modelo empregado para controle faz diferença no desempenho de ações que o AGV irá atuar.

O objetivo geral do trabalho é caracterizar o comportamento de transportadores autônomos a partir de dois tipos de sensoriamento. Através de sensoriamento de distância com sensor ultrassônico e sensoriamento óptico de uma fita guia.

Para o atingimento deste objetivo geral, objetivos específicos são propostos, de forma a conduzir o trabalho e balizar seus resultados. São eles:

- a) pesquisar tecnologias de transportadores autônomos, fazendo um estudo bibliográfico de métodos e conceitos aplicados em veículos autônomos guiados (AGV's), sobre sensoriamento e controle clássico, e a partir deste tirar conclusões com suas características de navegação e controle;
- b) modelar um protótipo funcional de baixo custo, utilizando um microcontrolador (Arduino Uno RV3) com 2 tecnologias de sensoriamento (proximidade e fita guia), caracterizando o desempenho destes protótipos com suas respostas ao degrau para um controlador clássico, com uso de controlador PI;
- c) proceder simulações computacionais da resposta ao degrau de cada sistema de controle e seu respectivo sensoriamento;
- d) implementar o AGV com os dois sistemas de sensoriamento, monitorando sua resposta ao degrau;
- e) divulgar os resultados alcançados em defesa da monografia desenvolvida e na edição de um artigo científico, a ser publicado.

Através da implementação em protótipo será possível chegar a conclusões sobre qual modelo de sensoriamento utilizado apresenta a melhor resposta. Será testado o modelo proporcional integral PI, em que será analisado a resposta ao degrau unitário. Estima-se que seja o controle PI o mais adequado para analisar os comportamentos dos sensores de proximidade (ultrassom) e do sensor óptico. O sensor óptico irá atuar como seguidor de linha e o sensor de proximidade irá atuar com desvio de proximidade, em uma área definida. Conforme Figura 14.1 é visível a ideia proposta.

Figura 14.1 – AVG seguidor de proximidade e de linha

sensor ultrassônico



sensor óptico



Fonte: Autor (2021).

O sistema de controle PID está contido em toda a teoria de sistemas de controle clássico. Em algumas literaturas pode ser encontrado como sistema de controle automático ou robusto. Neste tópico será explicado o funcionamento de tal modo de controle e aplicação.

A utilidade dos controles PID está na sua aplicabilidade geral à maioria dos sistemas de controle, em particular, quando o modelo matemático da planta não é conhecido (Ogata, 2010, p.521). É interessante notar que mais da metade dos controladores industriais em uso atualmente, emprega esquemas de controle PID ou PID modificado (Ogata, 2010, p.522). Uma forma de controlador utilizado amplamente em processos industriais é o controle de três termos ou controlador PID (Dorf, 2001, p. 289), conforme será mostrada a função de transferência na Equação 14.1, em que K_p representa o ganho proporcional, K_i o ganho integral e K_d o ganho derivativo.

$$G(s) = k_p + k_i \cdot \frac{1}{s} + k_d \cdot s \quad (14.1)$$

No domínio tempo se tem a mesma função, representada conforme Equação 14.2.

$$u(t) = k_p \cdot e(t) + k_i \int e(t) dt + k_d \cdot \frac{\partial e(t)}{\partial t} \quad (14.2)$$

Nesta equação as variáveis e constantes são representadas como:

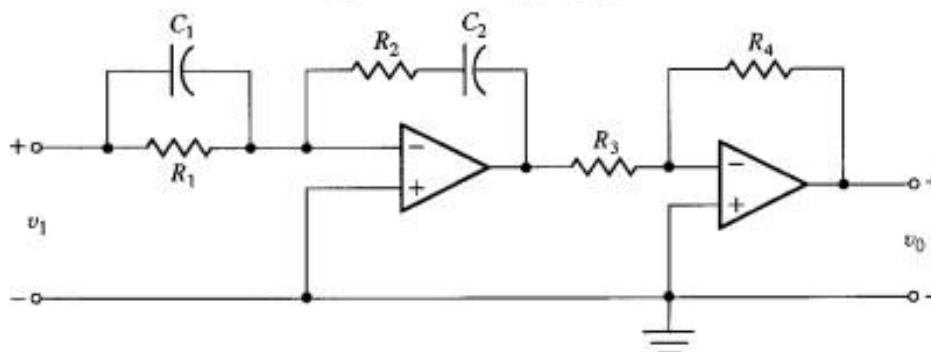
- a) $u(t)$ representa a variável manipulada;
- b) k_p ganho proporcional;
- c) k_i constante de integração;
- d) k_d constante de derivação;
- e) $e(t)$ é o erro (SP - PV).

Conforme as Equações 14.1 e 14.2 das respectivas funções de transferências, é possível modificar o tipo de controle. Para se ter um controle tipo P, os parâmetros K_i e K_d são nulos. Para um controle PI, o parâmetro K_d igual a zero. Enfim, é possível mais habilitações de controle, manipulando os parâmetros. Entretanto as mais comumente usadas são P e PI, conforme consta em Dorf e Bishop (2001). Este tipo de controle, apesar de já não ser novidade, é bastante atraente, pois introduz uma função de transferência com um pólo na origem e dois zeros que podem ser posicionados em qualquer lugar do semiplano S da esquerda (Dorf; Bishop, 2001), ou seja, prevê que seja possível estabilizar um sistema instável.

O diagrama eletrônico mostrado abaixo na Figura 14.2 fornece uma ideia analógica de um controlador PID, que inicialmente era utilizado desta forma em sistemas de controle de áudio, mas que atualmente é utilizado em controladores. Na figura da

direita para esquerda se tem os parâmetros K_P , K_I e K_D , respectivamente. Em que, K_P atua sobre o ganho, K_I atua sobre o erro não nulo e K_D corrige interferências com frequências altas.

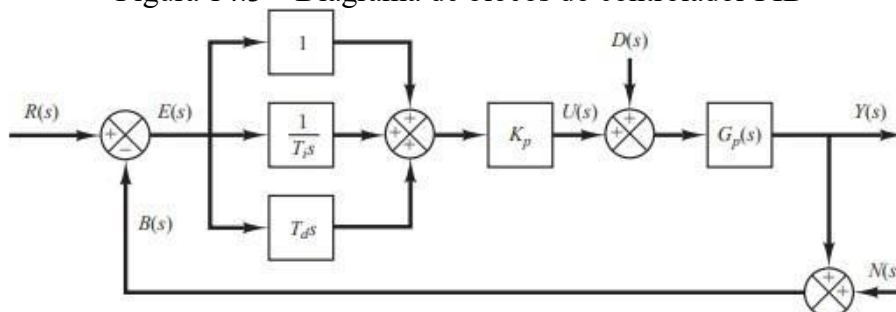
Figura 14.2 – Controle PID com amplificadores operacionais analógicos



Fonte: Dorf e Bishop (2001).

Conforme Figura 14.3, é possível a visualização do diagrama de blocos do controlador PID padrão, em que se tem o modo P, I, D somados. Para utilização do PI se anula o modo D.

Figura 14.3 – Diagrama de blocos do controlador PID



Fonte: Ogata (2010).

2 METODOLOGIA

O presente trabalho trata-se da caracterização do comportamento do sistema de controle clássico de um veículo autônomo guiado nas configurações P e PI, através do sensoriamento de proximidade (ultrassom) e por fita guia (óptico). Para tal será construído um protótipo de um AGV, sendo utilizado um microcontrolador Arduino como controlador.

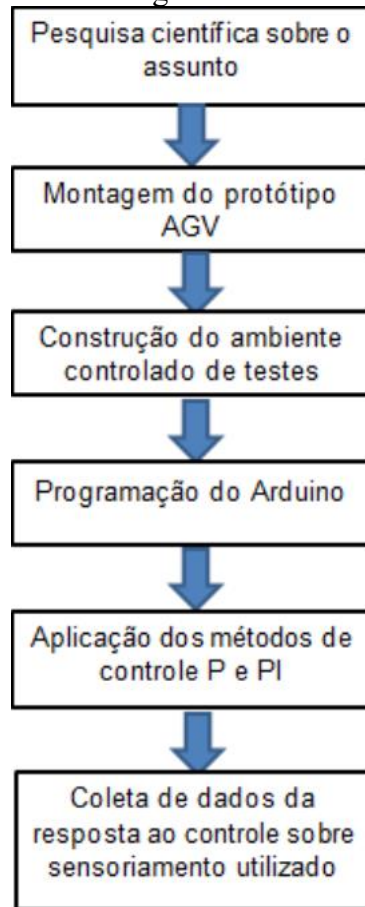
O Protótipo é testado em ambiente controlado, onde serão aplicados os modos, seguidor de linha, através de uma fita de largura 18mm colada no chão, ao longo de um percurso, e sensor de proximidade, em que será construído um circuito em placas de MDF (*Medium Density Fiberboard* - placa de fibra de média densidade). Será aplicado os dois métodos de controle e os dois tipos de sensoriamento, em que serão coletados dados (através do aplicativo de *software* Tracker) da resposta ao degrau, em ambos os casos.

O tipo de pesquisa empregada neste trabalho foi de modo qualitativo, pois visa compreender o comportamento do AGV ao longo de testes aplicados e caracterizar seus resultados. É também de caráter descritivo, pois será realizado a coleta de fundamentos e resultados e apresentados ao final do trabalho, através da implementação e realização de testes em ambiente controlado, para constatação e coleta de dados. Por fim, é de cunho científico, visto que será coletado informações para caracterização dos sensores ao modelo de controle aplicado.

O âmbito da pesquisa desse trabalho passa-se no universo industrial, uma vez que visa a melhor compreensão para escolha e aplicação de uma ferramenta de transporte de cargas, que mudará o dinamismo de como a indústria trabalha atualmente, visto que visa a melhor escolha como objetivo de flexibilidade dos sistemas atuais de manufatura e otimização dos processos. Também sendo um dos itens fundamentais na indústria do futuro (Indústria 4.0).

O método aplicado consiste em etapas, as quais são descritas a seguir. A primeira etapa se baseia no estudo de trabalhos já realizados e aplicados ao assunto de sensoriamento e controle de veículos autônomos. Posteriormente, se faz a construção e montagem do protótipo e sua eletrônica embarcada, com base nos trabalhos pesquisados com uso de sensores ópticos e ultrassom. A próxima etapa é a construção dos ambientes de trabalho e, subsequentemente será realizada a programação do controlador Arduino, com sua escolha de sensor e respectiva programação da malha de controle P ou PI. Por fim, são coletadas informações sobre o teste feito através de *software* para geração de resultados de comportamento real. Isto demonstrado no fluxograma da Figura 14.4.

Figura 14.4 - Fluxograma do método aplicado



Fonte: Autor (2021).

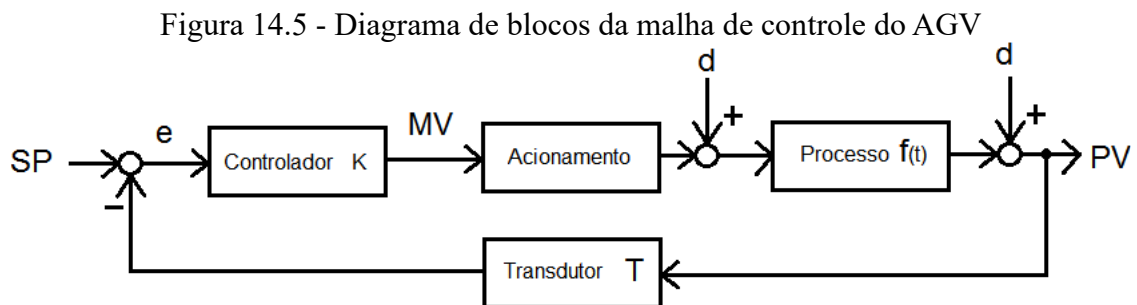
Com a produção do protótipo de um AGV, em que será montado sobre um chassi de acrílico, será montado em conjunto com sua eletrônica embarcada necessária, contendo os sensores fundamentais para as técnicas de posicionamento no trajeto e sua respectiva característica.

O funcionamento preverá que cada aplicação de controle poderá optar pelo método de sensoriamento que será utilizado, através de uma seleção por botões visíveis em uma IHM (*Interface Human Machine* – Interface humano-máquina) e através da leitura digital das portas do microcontrolador, que alterara lógica de aplicação no programa.

Serão instalados no chassi do AGV: sensores ópticos, ultrassom, IHM, o microcontrolador (Arduino), fonte de alimentação (5 pilhas recarregáveis de 1,2V), dois motores com rodas e redução mecânica específica para aplicação (rodas de kit de aprendizagem para protótipo de AGV), uma ponte H (l298N) para controle dos motores, matriz de contatos para facilitar as conexões e montagem dos circuitos eletrônicos.

Foi definido que a orientação do veículo será guiada pela atuação dos dois motores traseiros, tendo apenas uma roda “bamba” na sua parte dianteira (roda de rodízio de rolamento de apoio axial de 20mm), servindo unicamente como apoio e movimentação para o AGV. Este é criado visando o universo fabril, pois suas características são muito comuns aos AGVs comerciais já existentes, sendo dinâmico para um estudo de caso.

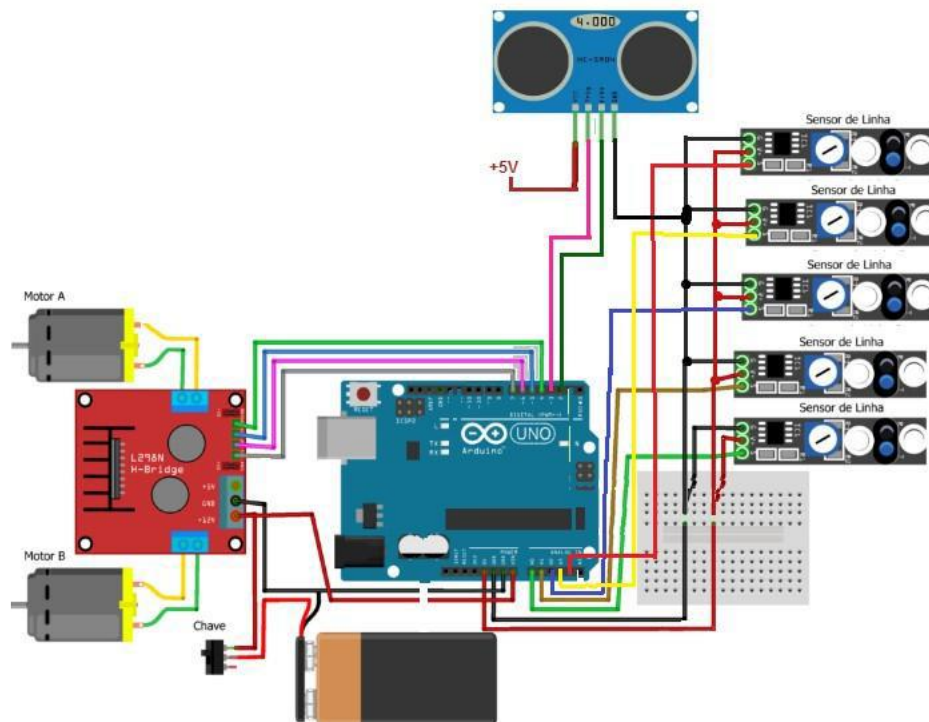
Conforme Figura 14.5 é demonstrado um diagrama de blocos do funcionamento do veículo com seus respectivos sensores.



Fonte: Autor (2021).

A montagem eletrônica exige muito cuidado, pois é essencial para o bom funcionamento. Conforme Figura 14.6 é possível observar o diagrama elétrico do veículo.

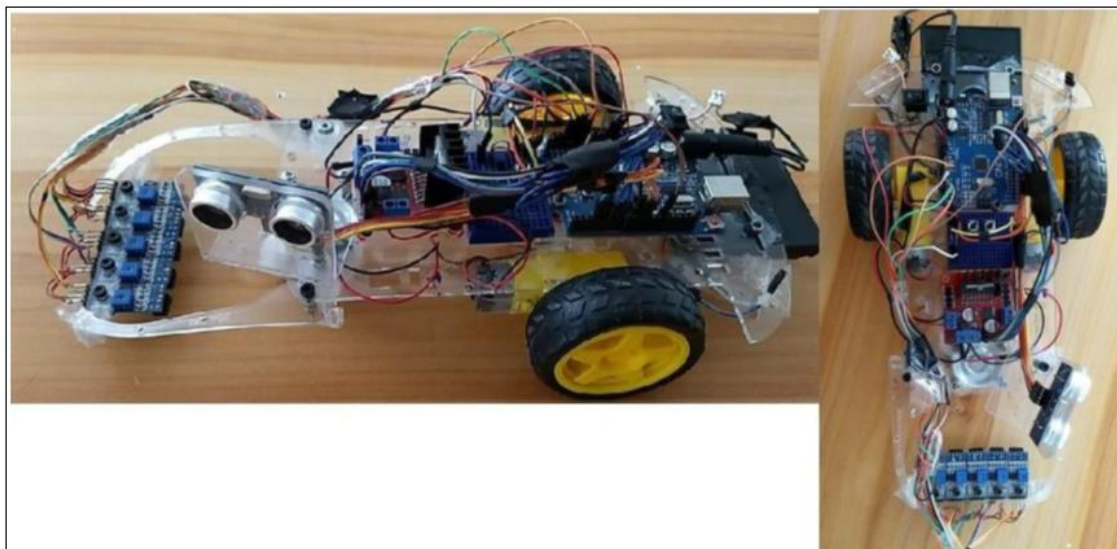
Figura 14.6 – Diagrama elétrico do AGV proposto no trabalho



Fonte: Autor (2021).

A Figura 14.7 representa o AGV com sua montagem final, ou seja, seus devidos periféricos e demais sensores já com os circuitos eletrônicos montados. E com toda parte mecânica já adaptada, montada e ajustada para a realização de testes.

Figura 14.7 - AGV montado mecanicamente e eletronicamente



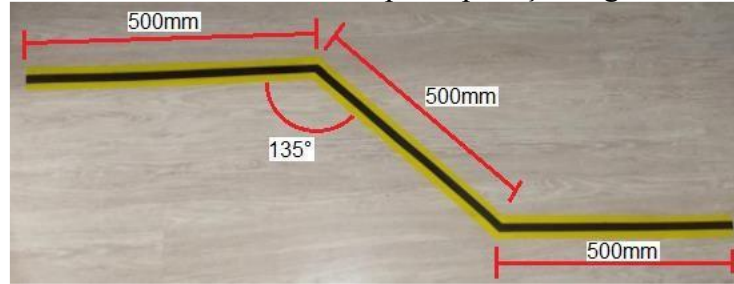
Fonte: Autor (2021).

Para implementação da eletrônica necessária para locomoção e funcionamento são necessários dois motores de 3,6V com conjunto de redução, roda montada de 68mm e uma placa ponte H, para controle deles.

A construção da pista, como ambiente controlado é uma das etapas mais importantes, pois tem a finalidade de simular um ambiente fabril, propósito do trabalho, onde serão simulados um seguidor de linha e proximidade. O seguidor de linha consistirá em uma fita preta de largura 18mm, demarcada no chão, constituindo o circuito para o AGV. Nas laterais há uma fita de demarcação amarela de 48mm de largura, simulando a área não demarcada de rota. A fita amarela é escolhida pois apresenta uma melhor reflexibilidade para os sensores e a preta menos reflexiva.

Conforme Figura 14.8, é possível ter uma noção do exemplo da pista no modo de seguidor de linha, onde cada curva da pista possui um ângulo com curvatura igual a 135° e comprimento de 1.500mm, com intuito de fazer o degrau máximo de controle do AGV.

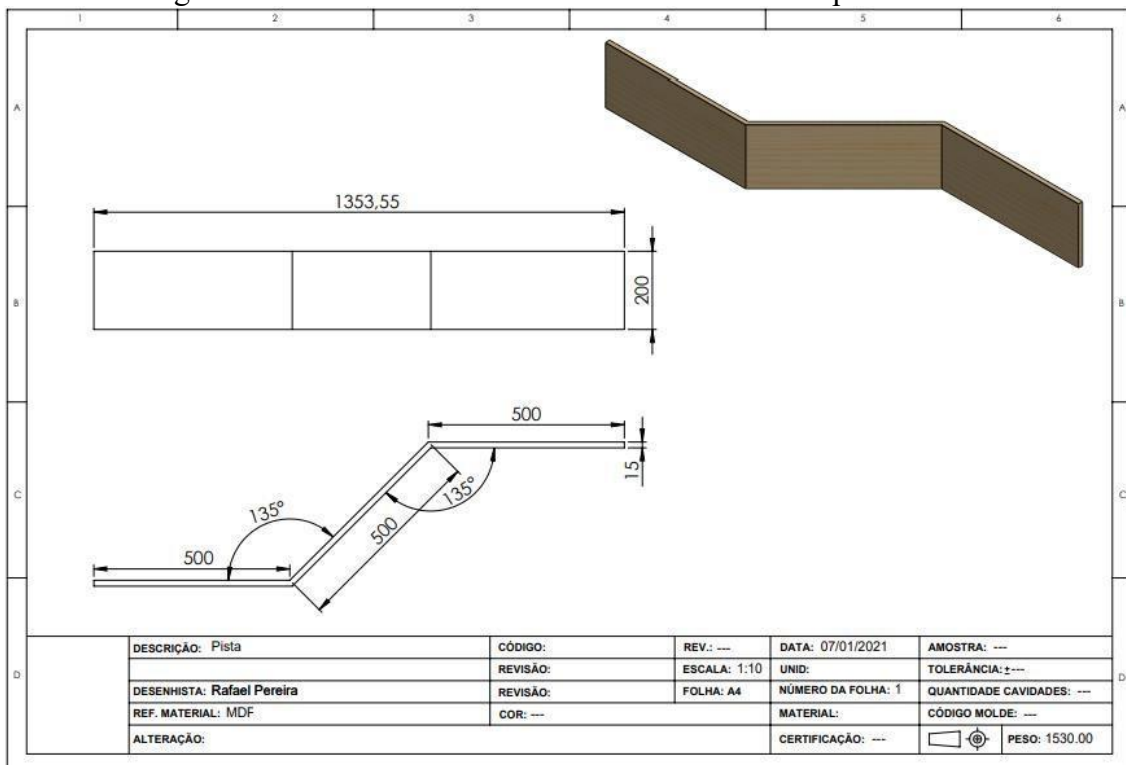
Figura 14.8 - Ambiente no modo para aplicação seguidor de linha



Fonte: Autor (2021).

A pista no modo de proximidade consistirá na montagem de um circuito com 3 placas em MDF, com 200mm de altura, 15mm de espessura e o comprimento de 500mm. A maior importância desta montagem é manter o circuito equidistante, para não afetar no modo de controle e sensoriamento de proximidade. Conforme mostra a Figura 14.9, o ambiente de trabalho para modo de proximidade.

Figura 14.9 - Desenho do ambiente de teste no modo proximidade



Fonte: Autor (2021).

A programação do Arduino seguirá um sistema clássico de controle em malha fechada, utilizando técnicas de programação já existentes para ele. A programação do sistema de controle do AGV no modo PI trabalha com o erro medido através dos sensores que ali estiverem (óptico ou proximidade). Isto significa que será configurado um ponto

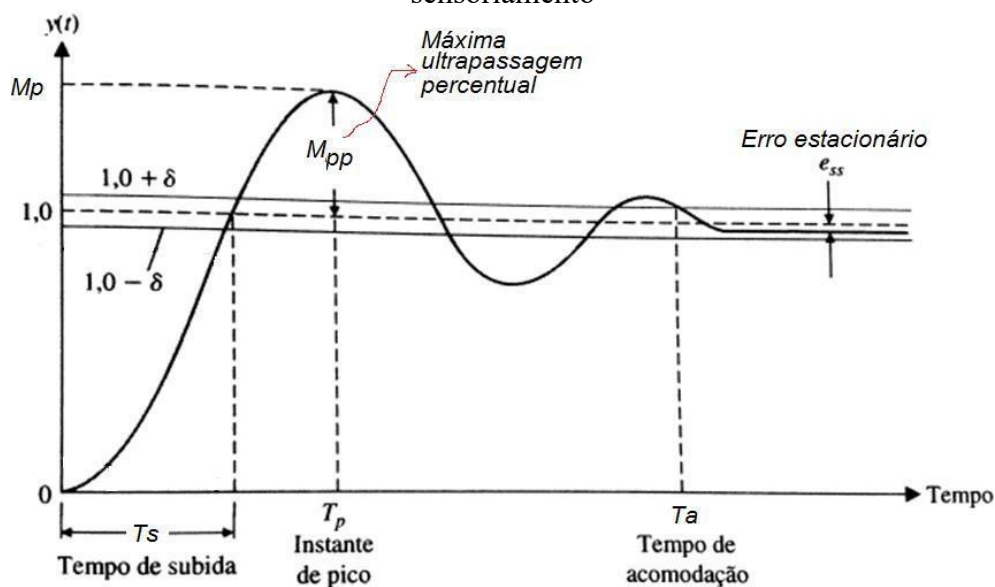
de referência no trajeto, que através do sistema em malha fechada será constatado o erro, e posteriormente corrigido. A programação será realizada em linguagem própria do microcontrolador (linguagem C++).

O sistema de controle clássico utilizado P (proporcional) e o sistema de controle PI (proporcional - integral), foram escolhidos pelo fato de serem bem práticos e de melhor entendimento. E serem um dos mais utilizados na indústria.

O método aplicado em malha fechada prevê uma boa atuação como sistema de controle e resposta. O *software* utilizado para coleta e análise de dados escolhido foi aplicativo Tracker, pois apresenta um fácil entendimento e é muito utilizado para modelagem e plotagem de gráficos. Através deste será possível obter a curva de reação e identificar o ponto de inflexão, para assim modelar a planta, podendo colocá-la em um simulador ou outro meio que represente a planta, sofrendo as ações de controle.

Como resultados esperados, será analisado a resposta ao degrau em cada um dos sistemas AGV, segundo sua técnica de sensoriamento. Nesta análise se busca a comparação dos parâmetros em cada uma das técnicas. A Figura 14.10 mostra o gráfico de resposta ao degrau desejado para cada técnica de sensoriamento proposta.

Figura 14.10 - Diagrama de resposta ao degrau que será analisada para cada técnica de sensoriamento



Fonte: adaptado de Dorf e Bishop (2001).

3 RESULTADOS E ANÁLISE

A modelagem das constantes do AGV em uma planta real consiste primeiramente em obter a curva de reação para definição das constantes de tempo, para um ângulo de 45° (ângulo de atuação máxima). Então, é aplicado um $u(t)$ máximo, ou seja, um PWM máximo de controle, aplicado em um dos motores para que a posição angular vá a 45° , com resposta máxima em menor tempo possível.

Para obter tal fato é realizado uma filmagem do AGV, registrando a resposta máxima de controle. Após é utilizado o *software* TRACKER como ferramenta para medição frame a frame do vídeo. São obtidos ângulos por frame e respectivos tempos, gerando assim valores de eixo x e y, ângulo máximo e tempos. Assim, é gerado um gráfico para obtenção da curva esperada, curva de reação, em que se pode obter o ponto de inflexão desta curva, ou seja, o ponto de maior derivada.

Ao tangenciar este ângulo é possível retirar os dois tempos desejados T1 e T2, tempos de resposta da curva de reação, visto que o sistema é de segunda ordem. Serão utilizados nas constantes da planta.

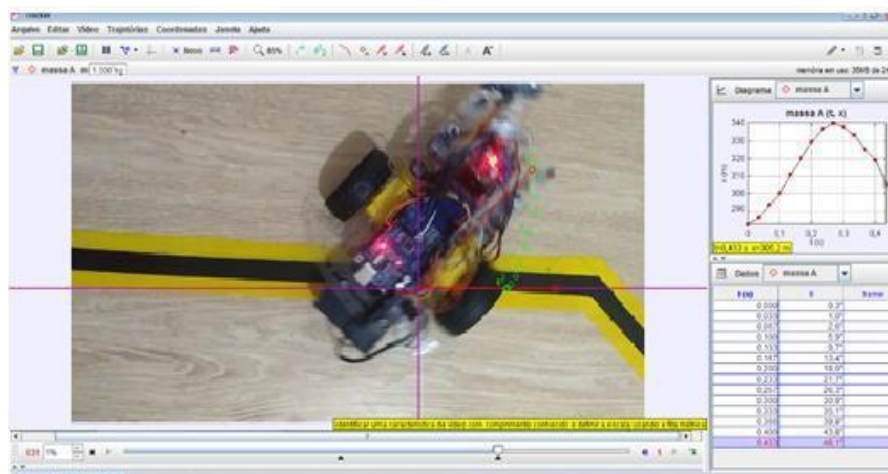
O sequenciamento utilizado para obtenção das constantes e modelagem delas em uma planta real, seguem a ordem de:

- a) programação do AGV para curva de reação com máxima resposta em PWM;
- b) adicionado à planta todo peso que será utilizado na montagem do AGV final;
- d) gravado vídeo do AGV no momento de resposta ao degrau unitário no comando;
- e) utilizado o aplicativo Tracker para medir os ângulos nos instantes de tempo T, até o ângulo máximo desejado;
- f) obtenção da curva de reação, através dos gráficos gerados;
- g) obtenção do ponto de inflexão;
- h) traçagem da reta tangente ao ponto de inflexão;
- i) obtenção das constantes de tempo T1 e T2;
- j) levantamento das constantes em suas respectivas equações e passadas para o domínio frequência;
- k) obtenção da função de transferência G(s).

O aplicativo Tracker foi utilizado como ferramenta de medição dos ângulos em instantes de tempo, porém o *software* possui muitos recursos físicos. Através do vídeo

gravado foi possível realizar as análises, é possível uma melhor compreensão, conforme ilustra a Figura 14.11.

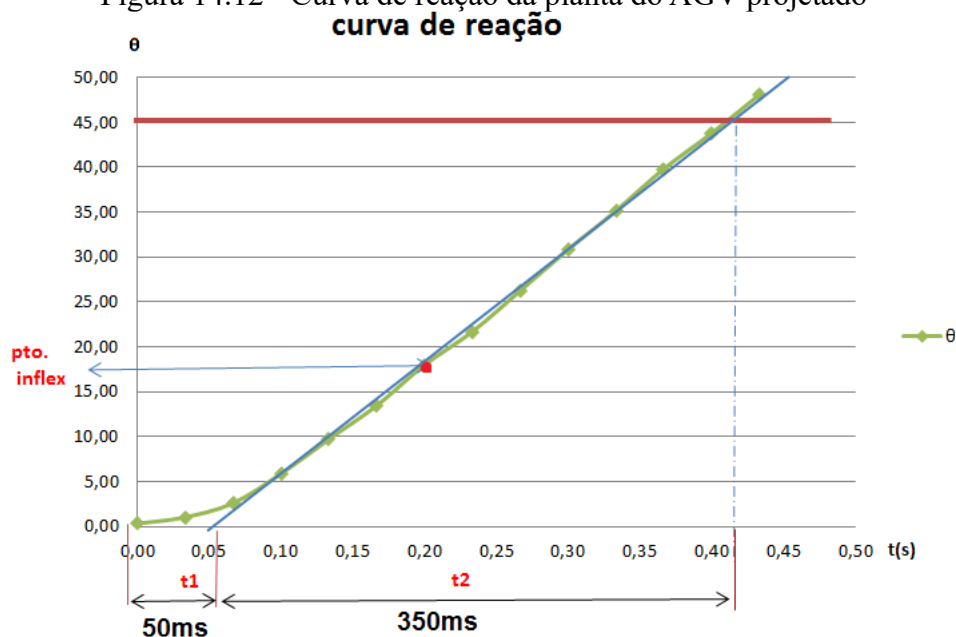
Figura 14.11 - Análise dos ângulos em instantes de tempos em resposta máxima do sistema



Fonte: Autor (2021).

Através dos dados gerados foi possível fazer análise e gerar a curva de reação de Ziegler-Nichols. Para este, foi utilizado o *software* Excel. Através deste é possível a obtenção do ponto de inflexão, tangenciado pela reta para obtenção dos tempos de retardo e constante de tempo T. Conforme ilustra a Figura 14.12 é possível a visualização da curva de reação, já com as respectivas constantes T1 e T2.

Figura 14.12 - Curva de reação da planta do AGV projetado



Fonte: Autor (2021).

A partir do levantamento de constantes e equações já conhecidas, no domínio tempo, é levantado todas as constantes pertinentes ao AVG de tração diferencial, cujo sistema de controle é pertinente no controle da posição angular, composto de uma estrutura de tração.

O sistema de direção possui tração diferencial, que de fato gera torque sobre o eixo da estrutura. Após o levantamento das respectivas equações diferenciais no domínio tempo, é então passado para o domínio frequência e então aplicado as constantes de tempo T1 e T2. Visto que o sistema apresenta ser de segunda ordem, chega-se então ao resultado da função de transferência G(s) da planta, conforme é demonstrado na Equação 14.3.

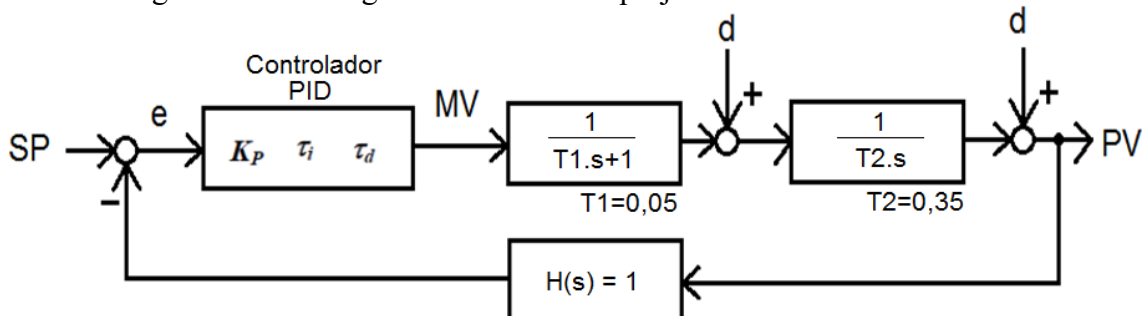
$$G(S) = \frac{v}{(T_1.S+1)} \cdot \frac{1}{T_2.S} = G(S) = \frac{v}{(T_1.T_2.S^2+T_2.S)} \quad (14.3)$$

Aplicando as constantes T1 e T2 obtidas pela análise do gráfico da curva de reação, levando em consideração o ponto de maior derivada (inflexão), em que a reta tangente deste ponto é precisa para obtenção das constantes, aplica-se na função de transferência da planta, conforme Equação 14.4.

$$G(s) = \frac{1}{(T_1.S+1)} \cdot \frac{1}{T_2.S} \therefore G(S) = \frac{1}{(0,05.S+1)} \cdot \frac{1}{0,350.S} \quad (14.4)$$

Desta forma, a planta final, em malha fechada, resulta no modelo apresentado na Figura 14.13.

Figura 14.13 - Diagrama de blocos do projeto AGV em malha fechada



Fonte: Autor (2021).

Visto que a planta não apresenta pólos complexos conjugados dominantes, pela resposta gerada em curva ao degrau tipo S, para sintonização das constantes de controle que atendam ao sistema em sua resposta respectiva máxima, é usado o método da curva

de reação de Ziegler-Nichols para sintonização das constantes K_P , K_I e K_D . Conforme a tabela para cálculo demonstrada no Quadro 14.1.

Quadro 14.1 - Valores para sintonização de constantes pelo método de Ziegler-Nichols

Tipo de Controlador	K_P	τ_i	τ_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0,9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0,3}$	0
PID	$1,2 \frac{T}{L}$	$2L$	$\frac{L}{2}$

Fonte: Ogata (2010).

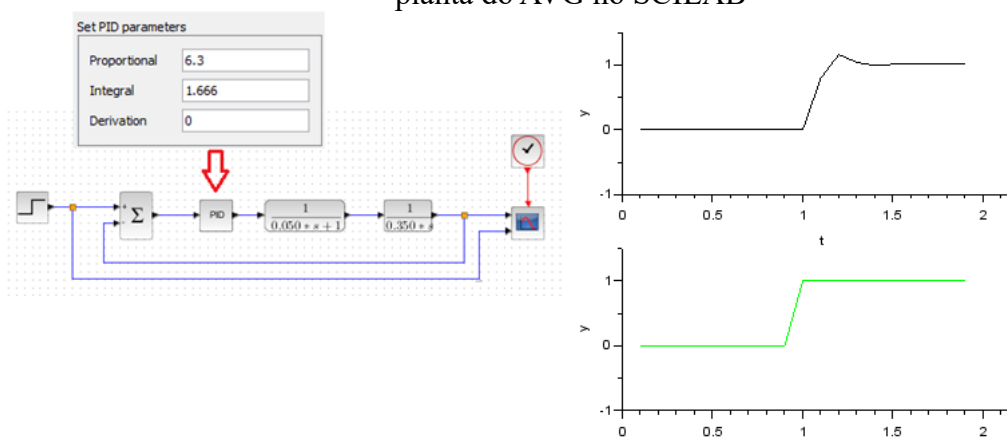
Aplicasse então as equações 14.5 e 14.6, para cálculo das constantes K_P e K_I (τ_i), visto que o sistema é de segunda ordem.

$$K_P = 0,9 \cdot \frac{T}{L} = 0,9 \cdot \frac{T_2}{T_1} = 0,9 \cdot \frac{350ms}{0,50ms} = 6,30 \quad (14.5)$$

$$K_I = \frac{L}{0,3} = \frac{T_1}{0,3} = \frac{0,50ms}{0,3} = 1,66 \quad (14.6)$$

É possível através da modelagem em planta real fazer a modelagem em *software*, em que foi utilizado o SCILAB para tal. Foi então simulado a resposta ao degrau do sistema que servira para sintonia do controlador através de métodos de sintonia. Conforme a Figura 14.14, o diagrama de blocos da planta no SCILAB.

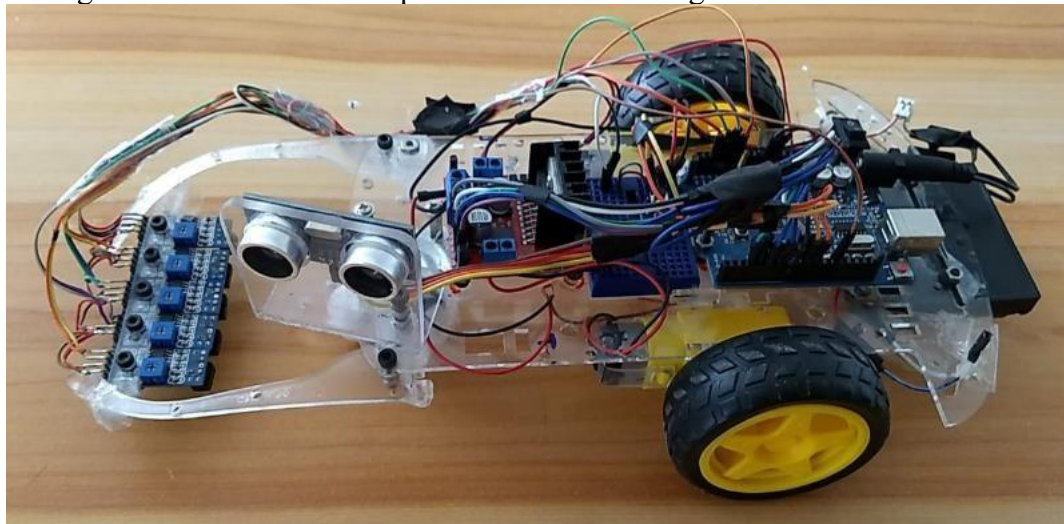
Figura 14.14 - Simulação da resposta ao degrau após sintonia das constantes da planta do AVG no SCILAB



Fonte: Autor (2021).

Conforme a Figura 14.15 é possível ver o AGV em sua montagem final, com todos os ajustes necessários.

Figura 14.15 - AGV em etapa concluída de montagem mecânica e eletrônica



Fonte: Autor (2021).

O sensoriamento para obtenção de referência da posição do AGV no modo ultrassônico, consistirá em um sensor (HC-SR04) na lateral do veículo, que quanto mais frontal melhor para o sistema de controle. Este trabalhará em malha fechada de controle, com função de realimentação que subtraído ao *setpoint*, gerará o erro que entrará na malha de controle e através do algoritmo PID, tendendo a estabilizar no *setpoint*, assim corrigindo o erro no modo proporcional, integral e se necessário derivativo.

Para implementação do sensor ultrassônico foi utilizada a biblioteca *ultrasonic.h*, que já dispõe de todos os recursos matemáticos e conversões de medidas necessários para leitura de posição, sendo o sensoriamento muito preciso. Para obtenção da resposta do sensor em valor medido é utilizado a comunicação serial do Arduino, assim podendo ser visualizado o valor medido e condizer com o real. Conforme a Figura 14.16 é possível a visualização do monitoramento serial da posição.

Figura 14.16 - Monitoramento serial do sensor ultrassônico na pista de teste



Fonte: Autor (2021).

O sensoriamento para obtenção de referência de posição no modo óptico consistirá em 5 módulos sensores infravermelhos (TCRT 5000), montados lado a lado, os quais estão posicionados na parte frontal do veículo, em que é possível fazer uma lógica binária através das combinações possíveis dos sensores.

Ao passar pela linha preta, é considerado que o sensor pode estar totalmente sobre a linha ou em transição entre ela, assim utilizou-se dois sensores para cada transição de nível, detectando o sinal. Foram utilizados um conjunto total de 5 sensores para se tentar obter uma linearidade maior, porém contínua sendo digital.

O sistema que será controlado possui uma dinâmica lenta, demora a reagir, com um tempo de acomodação de mais de 1 segundo. Logo, a varredura do microcontrolador é tão rápida, que qualquer coisa que ocorra entre uma medição e outra não será significativa. Por esta razão é considerado um sistema com microcontrolador, com programação em varredura, como um sistema contínuo no tempo.

As combinações das leituras dos sensores, em que o valor de detecção dos sensores é igual a zero e o valor de lido 1 é quando eles não estão sobre a faixa preta, assim sendo reflexivos, são:

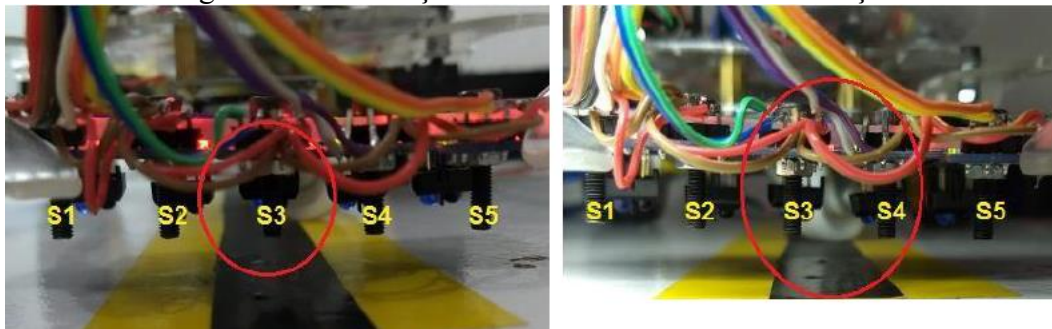
- a) valor "01111" se encontra 100% a esquerda;
- b) valor "00111" se encontra 75% a esquerda;
- c) valor "10111" se encontra 50% a esquerda;
- d) valor "10011" se encontra 25% a esquerda;
- e) valor "11011" se encontra 0% posição desejada;
- f) valor "11001" se encontra 25% a direita;
- g) valor "11101" se encontra 50% a direita;

- h) valor “11100” se encontra 75% a direita;
- i) valor “11110” se encontra 100% a direita;
- j) valor “11111” fora de posição;
- k) valor “00000” fora de posição.

Os valores dos sensores são coletados analogicamente e convertidos para digital, para ter uma melhor calibração do sistema, sem necessariamente mudar o valor do *trimpot* (resistor calibrável) de ajuste de sensibilidade. Através desta técnica é possível fazer um range de sensoriamento. Ainda é possível que o AGV passe totalmente os valores extremos. Então foi criada uma rotina para gravar a última posição, até que o veículo volte a linha, se necessário.

A Figura 14.17 ilustra os sensores na faixa de detecção, em que sensores são representados pela letra S, seguido no número respectivo (S1, S2, S3, S4 e S5), representando a detecção unitária do sensor e a transição de posicionamento, que é detectada por dois sensores.

Figura 14.17 - Posição dos sensores na faixa de detecção



Fonte: Autor (2021).

Tendo em vista esses valores de sensoriamento, foram feitos dois programas para controle, apenas mudando os valores coletados pelos sensores, a lógica para tomada de decisões. A expertise do programa se baseia em três perguntas básicas para tomada de decisão, que são:

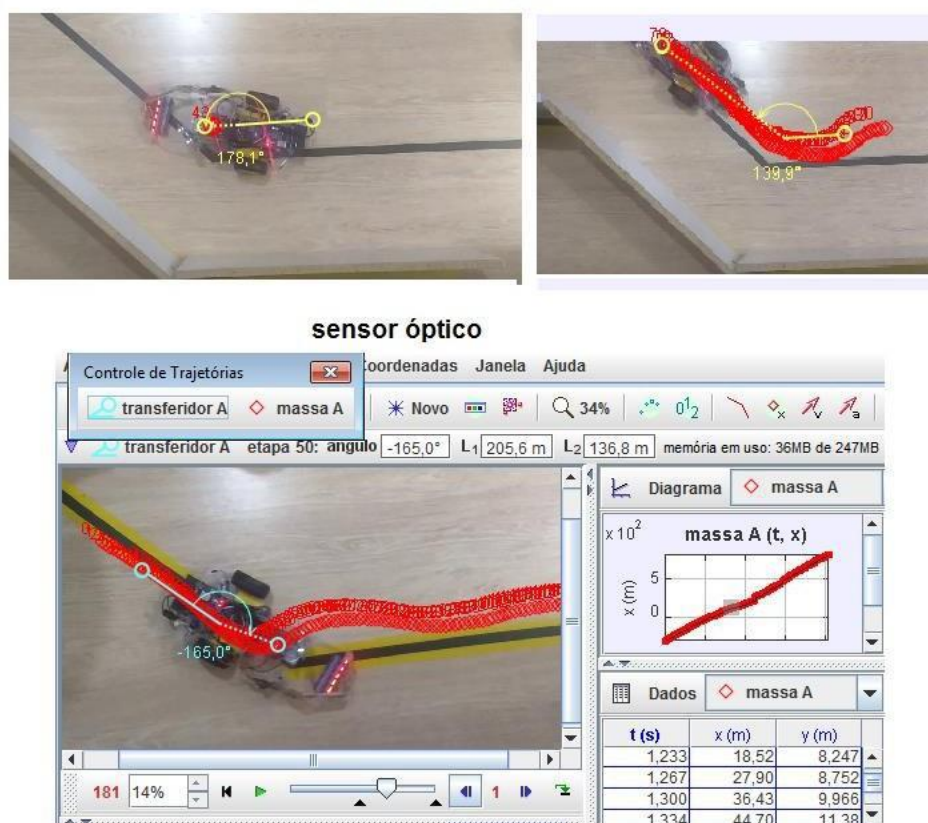
- a) se a saída de controle igual a zero, os dois motores giram na mesma velocidade;
- b) se controle for maior que zero, o motor da direita reduz a rotação segundo o controle PID aplicado;
- c) se controle for menor que zero, o motor da esquerda reduz a rotação segundo o controle PID aplicado.

Para obtenção da resposta ao degrau foi aplicado o protótipo nos dois modos, seguidor de linha e por sensor ultrassônico, em suas respectivas pistas.

Foi então realizada a filmagem individual, de modo que a câmera capturasse o ângulo de vista superior do AGV e que não acontecessem oscilações no vídeo, pois prejudicaria na coleta de dados. Utilizado então o *software* TRACKER, para análise dos vídeos, no momento da respectiva curva de 45°, em que se busca a curva característica dos sensores. Para tal, foi analisado cada frame do vídeo, em que a análise parte do instante de tempo 0 segundos de reação, instante inicial de mudança de direção, quando o sensor detecta o obstáculo diferencial do protótipo, até o momento em que o AGV estabiliza após fazer a curva, portanto a resposta ao degrau do sistema.

A Figura 14.18 ilustra a forma de obtenção dos dados, em que são analisados.

Figura 14.18 - Análise através de *software* para coleta de dados da resposta ao degrau nos modos de controle por sensor ultrassônico e por sensor óptico



Fonte: Autor (2021).

Após a coleta dos dados, são transferidos ao aplicativo de *software* Excel para plotagem dos gráficos para obtenção da resposta gerada, tendo como os resultados obtidos conforme representa a Tabela 14.1.

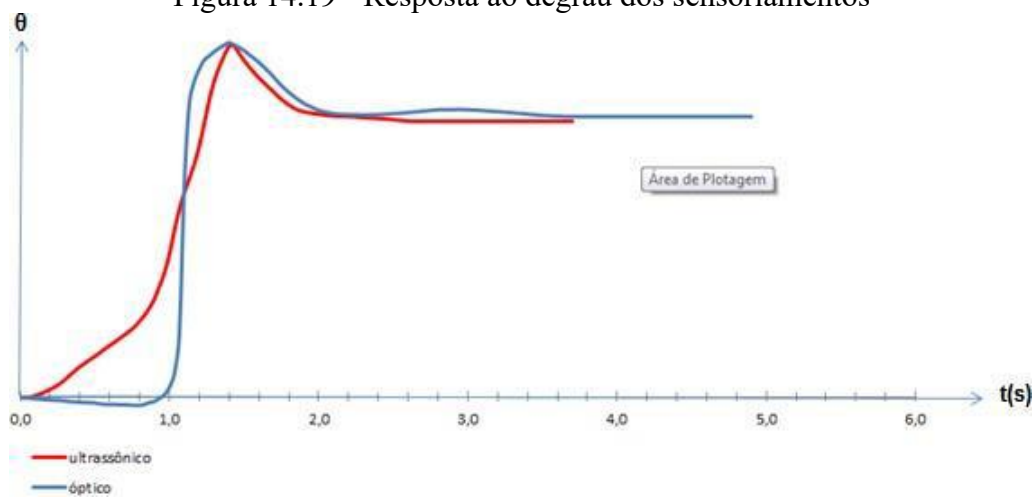
Tabela 14.1 - Resposta ao degrau do AGV segundo as técnicas de sensoriamento

Parâmetro	AGV com sensor óptico	AGV com sensor de proximidade
Máximo sobre-sinal (Mpp)	24,64 %	27,14 %
Tempo de subida	1,134 s	1,267 s
Tempo de acomodação	3,200 s	2,360 s

Fonte: Autor (2021).

E como resultado, a resposta ao degrau respectiva de cada método de sensoriamento, como demonstrado na Figura 14.19, em cor azul a curva respectiva da resposta ao degrau gerada pelo sensor óptico. Em cor vermelha a curva respectiva da resposta gerada pelo sensor ultrassônico.

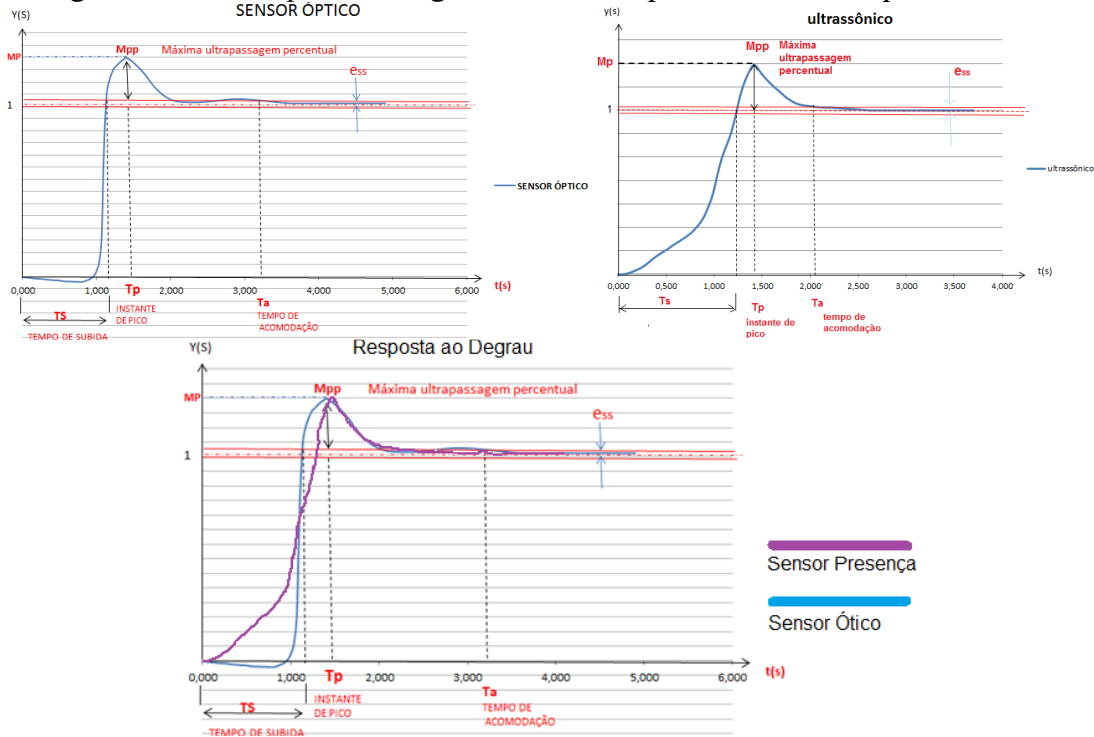
Figura 14.19 - Resposta ao degrau dos sensoriamentos



Fonte: Autor (2021).

Na análise da resposta ao degrau do sensor óptico e do sensor de distância por ultrassom, os comportamentos são ilustrados no gráfico, conforme Figura 14.20.

Figura 14.20 – Resposta ao degrau do controle por sensor ótico e por ultrassom



Fonte: Autor (2021).

É possível notar a curva característica formada, em que se têm uma atuação mais instantânea, porém se têm um comportamento suave. Em comparação, é possível visualizar que o sistema não apresentou movimentos bruscos, tendo-se um instante de pico (T_s) relativamente bom, uma máxima ultrapassagem percentual (M_{pp}) satisfatória, parecido com o esperado. Pode-se dizer que este gráfico ficou condizente com a curva característica esperada. Para esta resposta foi utilizado um sistema PI (proporcional e integral), conforme calculado nas equações.

Na análise da resposta ao degrau do sensor ultrassônico, é possível notar a curva característica formada. O comportamento desta curva apresenta um tempo de subida maior (T_s), uma máxima ultrapassagem percentual (M_{pp}), muito próximo ao sensor ótico. Porém um tempo de acomodação menor, ou seja, o tempo de instante de pico até tempo de acomodação pode-se dizer que é significativamente menor.

Conforme os dados gráficos, são possíveis as comparações dos resultados obtidos, através da aplicação dos métodos de sensoriamento óptico e ultrassônico, que representa uma comparação das duas respostas ao degrau geradas, possível a constatação das diferenças dos sensores.

Embora haja certas diferenças nas curvas, é possível notar que a máxima ultrapassagem percentual (M_{pp}) dos dois se mantiveram muito próximas, variando

poucos segundos os parâmetros abordados. Tais diferenças nas respostas, conforme análise realizada, são dadas pelas diferenças de leituras dos sensores, ou seja, o sensor no modo óptico utiliza-se de 5 sensores, em que através de uma técnica, gere um sinal perto do linear. Porém seu range é muito curto mesmo assim, tendo em vista que ele é um sensor digital funcionando em uma lógica binária, ou seja, há uma limitação de possibilidades já pré-determinadas.

Já o sensor ultrassônico, por sua vez, conta com um *range* muito maior, tendo uma leitura com muita precisão milimétrica. Sendo de forma analógica mais gradual e obtendo uma resposta com menos oscilações e mais rapidez no sistema, ou seja, o sensor ultrassônico em uma comparação tem inúmeras possibilidades, variando de acordo com a sua capacidade de leitura (*range*) e uma taxa maior de dados que entra no sistema de sensoriamento, assim pode-se dizer que o sistema inicialmente no degrau atue de forma mais lenta, porém a correção é mais rápida e gradual, pois é linear.

Foi observado que as respostas dos veículos ao percorrerem a trilha utilizando ambos os modos propostos, consideradas satisfatórias para atender a hipótese proposta, pois foi possível a caracterização dos modos.

Contrariando as expectativas, não foram observadas grandes diferenças e oscilações nos pontos de resposta ao degrau. Uma grande diferença no controle e sua precisão é a posição dos sensores, em que foi notado que quanto mais à frente do veículo, mais suave, rápido, preciso o veículo ficará, pois aumenta o tempo de resposta do processamento. Foi visto que o próprio peso e inércia do AGV acabam por contribuir para que o controle seja mais preciso, visto que o PWM tem uma taxa de atuação, em que: valor muito baixo, os motores param e em valores altos eles tornam o controle instável.

Ocorrem movimentos bruscos nas curvas, tornando o sistema marginalmente instável. Para correção foi então limitado o valor máximo de PWM no programa, obtendo assim um melhor controle e trajetória.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A hipótese abordada de uma caracterização de sistemas de controle de transporte, através de testes e ensaios em protótipo de baixo custo, que auxiliam na tomada de decisão quanto ao tipo de sensoriamento, se confirmou, pois através do experimento realizado

em diferentes ambientes e sensores de navegação é possível a visualização dos resultados das caracterizações dos sistemas, assim auxiliando na tomada de decisões de aplicações futuras, em diferentes universos, sejam eles domésticos, fabris ou de transporte.

Nos sistemas de navegação autônoma, que tendem a ser crescentes na indústria e no cotidiano, existem muitos estudos e já aplicações existentes, porém a importância deste trabalho é o teste em máxima resposta de um sistema de controle. As dificuldades deste trabalho foram no seu início, nas definições de parâmetros, cálculos, definições de velocidade e definições de testes mais adequadas.

A programação também foi um dos pontos que mais necessitaram atenção.

Outras limitações são da construção mecânica, pois o acrílico utilizado é muito frágil e quebradiço, logo não se pode colocar muito peso sobre ele.

Para trabalhos futuros, sugere-se a adequação de mais métodos de navegação, como a implementação de métodos de navegação híbridos em diferentes ambientes, ou seja, com a utilização de dois ou mais sensores para controle. Sugere-se também a utilização de uma interface para que se possa visualizar os valores de controle em tempo real e que nela se possa mudar os parâmetros de controle, bem como também mudar o modo de navegação, sem a necessidade de recompilar o programa do microcontrolador.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDI (Brasília). Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. **Inovação, manufatura avançada e o futuro da indústria: uma contribuição ao debate sobre as políticas de desenvolvimento produtivo. UMA CONTRIBUIÇÃO AO DEBATE SOBRE AS POLÍTICAS DE DESENVOLVIMENTO PRODUTIVO.** 2017. Disponível em:

<https://conhecimento.abdi.com.br/conhecimento/Publicacoes1/Inova%C3%A7%C3%A3o%20manufatura%20avan%C3%A>. Acesso em: 03 dez. 2020.

BORTOLON, Henrique. **Controle Lateral de um Veículo Guiado Automaticamente.** 2018. 77 f. Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

BRITO, José Marcos Mota; ALMEIDA, Elinilcia Ribeiro; SILVA, Mayko Pinheiro; SANTIAGO, Sandro Breval; SOUZA JÚNIOR, Armando Araújo. Aplicação de veículo guiado automaticamente nas diversas áreas de produção da indústria: revisão sistemática da literatura. **Brazilian Journal of Development**, [S.L.], v. 6, n. 2, p. 9486-9502, 2020. Brazilian Journal of Development. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv6n2-310>.

COELHO, Pedro Miguel Nogueira. **Rumo à Indústria 4.0**. 2016. 68 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2016. Disponível em: <https://eg.uc.pt/bitstream/10316/36992/1/Tese%20Pedro%20Coelho%20Rumo%20%C3%A0%20Industria%204.0.pdf>. Acesso em 13 out. 2020.

DORF, Richard C.; BISHOP, Robert H. **Sistemas de controle moderno**. Tradução de Bernardo Severo da Silva Filho. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2001.

GONÇALVES, Rafael Pereira. **Estudo de sistemas de navegação em transportadores autônomos**. 2021. 59 f. Monografia (Graduação) - Curso de Tecnólogo em Automação Industrial, Universidade Estadual do Rio Grande do Sul - Uergs, Porto Alegre, 2021. Disponível em: <https://repositorio.uergs.edu.br/xmlui/handle/123456789/2014>. Acesso em: 30 jun. 2023.

JUNG, Cláudio Rosito; OSÓRIO, Fernando Santos; KELBER, Christian Roberto; HEINEN; Farlei José. Computação embarcada: Projeto e implementação de veículos autônomos inteligentes. **Anais do Congresso da Sociedade Brasileira de Computação**, v. 5, pp. 1358-1406, 2005. Disponível em: <http://osorio.wait4.org/publications/Jung-et-al-JAI2005.pdf>. Acesso em 22 nov. 2020.

OGATA, Katsuhiko. **Engenharia de controle moderno**. Tradutora: Heloísa Coimbra de Souza. 5. ed. São Paulo: Pearson, 2010.

OTTONI, Guilherme de Lima; LAGES, Walter Fetter. Navegação de robôs móveis em ambientes desconhecidos utilizando sonares de ultrassom. **Sba: Controle & Automação Sociedade Brasileira de Automática**, [S.L.], v. 14, n. 4, p. 402-411, dez. 2003. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-17592003000400008>. Acesso em: 30 jun. 2023.

PEREIRA, Adriano; SIMONETTO, Eugênio de Oliveira. INDÚSTRIA 4.0: CONCEITOS E PERSPECTIVAS PARA O BRASIL. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, Três Corações: Universidade Vale do Rio Verde. v. 16, n. 1, p. 1-9, 15 jul. 2018.

SIMÕES, Wagner Lourenzi; VECCHIA, Rodrigo Dalla; SILVA, Macáliston Gonçalves da. Proposição de um modelo de otimização para programação da produção em Sistema Flexível de Manufatura (FMS) com tempos de setup dependentes da sequência: a combinação de esforços em sequenciamento e tempos de preparação na indústria eletrônica. **Produto & Produção: Revista quadrimestral do programa de pós-graduação em engenharia de produção da Universidade do Rio, Porto Alegre**, v. 16, p. 81-99, mar. 2015. Quadrimestral. Disponível em: <https://www.seer.ufrgs.br/ProdutoProducao/article/viewFile/50034/33696>. Acesso em 2 set. 2020.

SOUZA, Jose de; ROYER, Rogerio. Implantação de um sistema AGV - veículo guiado automaticamente um estudo de caso. In: **Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. ENEGEP, Salvador, v. 33, p. 1-16. 2013. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2013_TN_STO_177_010_22461.pdf. Acesso em 22 out. 2020.

ULLRICH. **Automated guided vehicle systems**. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg: Springer, 2015.

15

ESTUDO DE CASO NA AUTOMAÇÃO DE SISTEMA DE CONJUNTO DE ESTAMPAGEM E SOLDAGEM

Adriano Dos Santos Mathes

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo sintetiza o trabalho de conclusão de curso de Mathes (2021), ao investigar sistemas de automação, aplicados em operações de estampagem.

Usar a criatividade para melhorar a qualidade de vida e do ambiente a seu favor, tem sido desde sempre um desejo dos seres humanos. Esse desejo é almejado para uma melhor qualidade de vida. Com isso, ao passar dos tempos, processos produtivos foram sofrendo alterações em suas concepções, com o intuito de se aproveitarem de melhor forma o potencial das máquinas e instalações, de seus recursos humanos e financeiros. Visando sempre uma melhor eficácia das máquinas e a utilização de recursos disponíveis, evitando assim desperdícios.

Com o passar dos anos, novas criações e equipamentos surgiram e foram substituindo processos produtivos artesanais e manuais, os quais ofereceram mais agilidade e redução de custos aos processos. Nesse cenário, na metade do século XVIII, surgiram as primeiras máquinas a vapor, construídas na Inglaterra, segundo Mendes (2018). As máquinas utilizadas nesse período foram responsáveis pela primeira revolução industrial e já tinham como objetivo o aumento de produção e maior produtividade. Por consequência, maior lucratividade por parte dos empresários.

Klaus Schwab (2016) explica que a segunda revolução industrial, que teve seu início marcado pelo uso da eletricidade e o uso das linhas de montagens e que permitiram utilizar produções em grandes quantidades, no final do século XIX.

Por sua vez, a terceira revolução industrial que iniciou na década de 1960, também foi conhecida como a revolução digital ou do computador, foi promovida pelo avanço

tecnológico de sistemas automatizados, que garantiam a repetitividade dos processos, padronizando a manufatura dos produtos e processos.

Para Schwab (2016), atualmente estamos vivendo a quarta revolução industrial, desde a primeira década desse século e tem como base a revolução digital. Essa quarta revolução tem como particularidade uma internet global e móvel, a comunicação entre as máquinas, sensores cada vez menores e mais potentes, inteligência artificial (IA) e aprendizagem automática.

Com o aumento da produção em grandes escalas e a inserção de linhas de produção cada vez mais enxutas e dinâmicas, as empresas passaram a buscar a atualização perante o mercado e as novas tecnologias para continuarem competitivas e rentáveis perante a concorrência. Com isso a necessidade de controle dos processos torna-se cada vez mais necessário. A melhoria contínua é uma prática adotada pelas empresas, principalmente do setor automobilístico, que visa atingir continuamente, como o próprio nome diz, resultados cada vez melhores, sejam eles em produtos, serviços, processos internos e qualidade de trabalho para as pessoas. E estão vinculados diretamente a necessidade de redução de custos.

Segundo Kotler (2000): “é mais fácil uma empresa ser destruída por concorrentes emergentes e por novas tecnologias, do que por concorrentes atuais”. Dessa forma, empresas que investem em melhoria contínua de processos estão tendenciosamente a serem destaques em gestão e qualidade de seus produtos ou serviços, e por isso serem diferenciais perante a concorrência.

A globalização trouxe ao mercado brasileiro a necessidade de padrões de qualidade, antes encontrados somente em países desenvolvidos. Mesmo as empresas que, só fornecem para o mercado de produção nacional, foram forçadas a se estruturarem de forma a atingir níveis de eficiência das operações e qualidade de seus produtos, de forma a manterem o padrão de qualidade e custos de produção, em qualquer parte do mundo.

Com isso, segundo Pansonato (2020), empresas do ramo automotivo praticam constantemente o processo de *Lean Manufacturing* (LM), *Lean Production* (LP), ou manufatura/ produção enxuta, que teve sua origem a partir do Sistema Toyota de Produção (STP), surgido no Japão após a segunda guerra mundial, criada pelo engenheiro Taiichi Ohno, e tinha como objetivo reerguer a empresa e minimizar os efeitos gerados pela guerra. As principais características do sistema *Lean* são os sistemas *Just in Time*, 5S e principalmente a redução de desperdícios. Os oito principais efeitos estão descritos a seguir:

- a) redução de defeitos: acontecem quando um produto ou serviço não pode seguir o fluxo correto;
- b) espera: é relacionada ao tempo entre etapas do processo, geralmente ligadas às falhas em processos anteriores ou posteriores;
- c) transporte: está relacionado com a movimentação de estoque, equipamentos, matérias-primas e pessoas de forma desnecessária;
- d) estoque: está relacionado a diferença entre o pedido do cliente e o produzido pela empresa, considerando que se essa relação for maior na produção, os produtos terão que serem estocados, até terem a demanda de pedidos;
- e) movimento: está relacionado à movimentação de pessoas, peças e produtos, durante as etapas do processo, geralmente ligadas a falhas de layout ou de fluxos entre as etapas;
- f) processamento excessivo: está relacionado com etapas desnecessárias na produção ou prestação de serviços;
- g) superprodução: está relacionado com a produção demasiada de determinado produto, antes que ele seja pedido pela próxima etapa ou para o cliente final;
- h) habilidades: está relacionado ao desperdício de potencial humano, quando não se aproveita o potencial dos funcionários em mais de uma etapa do processo.

Segundo Sales (2019), indústrias de diversos ramos, como por exemplo, alimentício, química, mineração, papel e celulose, entre outras, utilizam a automação para aperfeiçoar seus processos produtivos e conseqüentemente aumentar a segurança dos processos, segurança operacional, aumento de qualidade e de produtividade.

Contudo, o controle adequado dos processos também necessita de métricas que mensurem e ajudem as empresas e as pessoas nas tomadas de decisões. Tendo em vista que, para uma correta abordagem em um determinado processo a ser melhorado necessita de parâmetros de produção, de qualidade, de disponibilidade, de investimentos, entre outros.

Para tanto, segundo a Equipe Totvs (2018) é necessário estabelecer *Key performance Indicators* (KPIs), ou indicadores chaves de desempenho, que norteiam e apoiam nas tomadas de decisões. Esses indicadores servem para definir, analisar, medir, implementar e controlar processos, antes e após as melhorias. Sendo assim, esses KPIs ajudam a diagnosticar a situação dos processos, demonstrando através análises críticas de pontos fortes e fracos, ajudando a encontrar soluções para os gargalos e servindo como base para a tomada de decisões e para a execução de futuras melhorias do processo em análise. Processos como esses são baseados na metodologia de manufatura digital, que

tem por objetivo visualizar melhor as etapas de produção de um determinado item. Além dos custos envolvidos e os recursos necessários para implementar projetos, e que tenham por objetivos a redução de custos e otimização de tempo gasto para realizar determinadas tarefas ou processos.

Neste contexto, o presente estudo, pretende abordar uma análise comparativa de métricas e funcionalidades de uma ferramenta de estampagem e uma máquina de solda a ponto, antes e depois de sua automação, para servir de parâmetro para a tomada de decisão gerencial sobre a automação de processos industriais semelhantes.

A automação surgiu da necessidade de substituir os trabalhos manuais pesados por máquina. Logo, a automação é um tipo de controle inserido ao processo para que se haja o mínimo de interferência humana, durante as diversas etapas do processo ou de fabricação de um determinado produto ou serviço.

Diante da forte exigência dos clientes internos e externos, as empresas estão investindo cada vez mais em projetos que reduzam os oito desperdícios, que são abordados no sistema Lean, com o intuito de manterem-se em constante atualização tecnológica, buscando a viabilização de seus produtos ou serviços.

Diante disso, percebe-se a necessidade de criação, da utilização e de avaliação de KPIs, para avaliar se é viável a implementação de alguma tecnologia ou processo novo para as empresas, com bases em valores definidos e métricas de produção, avaliação de *Lead time*, *Takt time*, retorno do investimento (*Return Of Investment* - ROI) de processos. E com base em parâmetros pré-definidos, justifica-se o investimento em automação de processos.

Porém, o controle pós-automação desses KPIs também é de grande importância para servir como base fundamentada para a determinação de investimentos futuros, em melhorias de outros processos ou serviços, e servir como referenciais para futuras pesquisas sobre o uso da automação para a obtenção de melhorias em indicadores de produção, qualidade de produtos ou serviços.

Este trabalho se propõe a realizar um estudo de forma sistemática e com embasamento técnico científico dos indicadores e métricas de produção e de desempenho, antes e depois da automação de uma ferramenta de estampagem de chapas metálicas. Peças essas que fazem parte de um conjunto com parafusos soldados através de solda ponto. Esse conjunto faz parte de carroceria de automóveis, fabricados em montadora de veículos do complexo industrial automotivo de Gravataí- CIAG-RS.

Segundo Cardoza e Carpinetti (2005), uma vantagem alcançada quando desenvolvido e implantado os conceitos de avaliação de desempenho no sistema de produção enxuta é a quantidade de informações que são reunidas das diversas áreas da empresa. Com isso, é possível identificar com mais segurança os problemas dos processos e elaborar os eventos de melhoria (kaizen), que busquem mais eficiência em processos produtivos e administrativos (Krajewski *et al.*, 2008).

O principal objetivo do trabalho é implementar a automação de um equipamento de manufatura de estampagem com soldagem, analisando as funcionalidades e métricas antes e após o processo de automatização.

Para que este objetivo seja alcançado, objetivos menores e específicos são buscados, de forma a garantir o processo de investigação e aprendizagem, com foco na comprovação da hipótese elencada para o trabalho.

Os objetivos específicos são:

- a) identificar as funcionalidades e métricas do equipamento em processo manual;
- b) definir os indicadores que se deseja mudar com automação;
- c) estudar os métodos para automação de processos de manufatura iguais ou semelhantes;
- d) implementar a automação do equipamento;
- e) identificar as funcionalidades e métricas do equipamento automatizado;
- f) analisar o efeito e as peculiaridades da automação do processo;
- g) divulgar os resultados.

Uma vez atingidos os objetivos específicos, e conseqüentemente, o objetivo geral, se espera o resultado de uma implementação de automação em um equipamento, obtendo dados significativos que aponte as funcionalidades e métricas obtidas após a implementação da automação, comparado com sua situação antes de ser automatizado.

O controle pós-automatização dos KPIs é de grande importância para servir como base fundamentada para a determinação de investimentos futuros. Esses indicadores chave de desempenho KPIs são utilizados como ferramentas básicas para o gerenciamento do sistema organizacional. As informações são utilizadas para o controle, avaliações e para tomada de decisões sobre o desempenho das atividades das empresas (Rodrigues; Ferrarin; Olesko, 2013).

Esses indicadores são formados por valores numéricos, chamados de métricas, que são utilizadas para mensurar, de forma comparativa, e as metas estabelecidas para cada indicador, a fim de avaliar o desempenho de cada uma, durante um determinado período.

O objetivo dos indicadores é traduzir de forma numérica o desempenho dos processos em si, de forma a facilitar a gestão e análise detalhada do funcionamento da atividade. A correta utilização e interpretação desses indicadores possibilita calcular a capacidade produtiva do processo e atuar onde estão apresentando índices baixos dos indicadores, de forma a aumentar a qualidade e a performance geral do processo, produto ou serviço.

Produtividade é um indicador utilizado como ferramenta gerencial para medir o desempenho de economias, indústrias, empresas e processos. A produtividade é o valor dos resultados (produtos ou serviços) produzidos dividido pelo valor dos insumos (salários, custos de equipamentos e outros fatores semelhantes) usados. A Equação 15.1 demonstra a fórmula de cálculo da produtividade.

$$Produtividade = \frac{\text{produtos e serviços (saídas)}}{\text{insumos (entradas)}} \quad (15.1)$$

A produtividade também pode ser medida pela quantidade de peças ou serviços realizados por uma pessoa ou máquina, em um determinado intervalo de tempo. Equação 15.2 demonstra a fórmula para cálculo da produtividade homem/hora.

$$Produtividade \text{ Homem/hora} = \frac{\text{produtos e serviços (saídas)}}{\text{tempo (horas/turno)}} \quad (15.2)$$

Contudo, os indicadores de produtividade estão ligados à eficiência do processo, em que se busca reduzir ao máximo possível os valores agregados à produção, para se obter um retorno maior em relação ao aplicado, a fim de produzir um produto ou serviço.

Segundo Enzo Mariano, a eficiência é a virtude ou característica (que pode ser atribuída a uma pessoa, máquina, processo, técnica ou empreendimento) de conseguir o melhor rendimento com o mínimo de erros, desperdício de energia, tempo, dinheiro ou meios (Mariano, 2007).

A eficiência de um meio produtivo, pode se confundir com produtividade, que é um indicador da eficiência de um processo ou serviço. Assim, quanto maior a produtividade, mais eficiente ele será. A Equação 15.3 apresenta a fórmula para cálculo da eficiência, que é calculado através do valor obtido de um determinado indicador em relação ao valor máximo que poderia ser alcançado por tal indicador.

$$Eficiência = \frac{\text{Indicador de desempenho}}{\text{Indicador de desempenho } 100\%} \quad (15.3)$$

Por outro lado, eficácia está relacionada ao cumprimento de objetivos traçados. E quanto maior for o alcance das metas estabelecidas pelos indicadores, mais eficaz o processo será. Está relacionada com a melhor maneira de se atingir os objetivos planejados e com o resultado obtido, não com os insumos utilizados para atingi-los (Mariano, 2007). A Equação 15.4 demonstra a fórmula para cálculo da eficácia, que é calculada da mesma forma que a eficiência, porém o valor máximo é uma meta estabelecida.

$$Eficácia = \frac{\text{Indicador de desempenho}}{\text{Meta estabelecida do indicador}} \quad (15.4)$$

Outro parâmetro importante é a confiabilidade, que segundo Guilherme Vaccaro, pode ser caracterizada como a probabilidade de um determinado item cumprir algum objetivo especificado, sob condições ambientais especificadas em um período definido (Vaccaro, 1997). Ou seja, um produto ou serviço deve manter sua qualidade com o decorrer dos tempos, mesmo que sofra com a presença de fatores externos, mantendo o produto livre de falhas ou reparos.

De certa forma, para a obtenção da confiabilidade são realizados testes e coleta de dados estatísticos para a análise do comportamento dos produtos. Esses testes podem ser acelerados, simulando todas as possíveis falhas que um produto possa apresentar, durante seu processamento ou durante a aplicação final.

O tempo de atravessamento, também conhecido como *Lead-Time* (LT), é uma das ferramentas de gestão utilizadas pelo sistema *Just in Time*, o JIT, que é propriamente o tempo de processamento de um produto, não necessariamente somente o tempo de fabricação, os tempos de transportes e armazenamentos em estoque também devem ser levados em conta, no momento da determinação do LT.

Um dos principais objetivos das empresas é minimizar o *Lead Time*, pois permitirá uma maior flexibilização dos seus estoques e controlar de forma mais enxuta os custos com estoques intermediários, prever a necessidade de compra de matérias primas, disponibilizar os equipamentos produtivos para a fabricação de outros produtos, entre outras.

Sob a ótica das empresas, dentro dos princípios do sistema JIT, a meta de LT seria “zero”, ou seja, entregar de forma imediata os produtos solicitados pelos clientes. Mas de certa forma esse objetivo não é tangível, pois sempre haverá um prazo de entrega de cada produto. Levando-se em consideração que o sistema JIT, utiliza o sistema de produção puxado, que produz o que realmente é solicitado pelos clientes. Também em algumas empresas utiliza-se os estoques chamados de estoques de segurança, que são quantidades necessárias para entregas emergenciais, caso ocorra algum imprevisto durante o processo produtivo, atrasos de entregas de matérias primas, defeitos em máquinas e equipamentos, aumento da demanda solicitada pelo cliente, entre outras.

O tempo entre produtos, conhecido como *Takt Time*, está relacionado a taxa de produção que a empresa pode dispor. Segundo Gomes e Corrêa (2018) o *Takt Time* é o espaço de tempo no qual uma unidade de produto deve ser produzida, isto é, a taxa com a empresa deve produzir para atender a demanda de peças solicitadas pelo cliente (Gomes; Corrêa, 2018).

As perdas por superprodução e a necessidade de produzir somente o que for pedido pelos clientes, tornaram cada vez mais importante entender o ritmo da demanda solicitada. Para isso, deve-se atentar-se para o nível de produção de um determinado produto, para que dentre outras coisas, não altere a entrega e a qualidade deles.

Manter os equipamentos com um *takt time* ideal, previne paradas desnecessárias e permite dimensionar corretamente os tempos de produção de cada produto, tornando o equipamento mais eficaz. Podendo dimensionar se ficam tempos ociosos ou se estão sobre carregados, evitando que eles se tornem “máquinas gargalo²²”. A Equação 15.5 demonstra como calcular o *takt time*.

$$Takt\ Time = \frac{Tempo\ de\ operação\ efetiva\ diária}{Quantidade\ de\ produção\ requerida\ diariamente} \quad (15.5)$$

É importante atentar-se quando a produção for variada, com pequenos lotes. A utilização do *takt time* de forma correta é extremamente importante para gerir o processo de fabricação, evitando a produção de lotes diferentes ao solicitados pelos clientes.

²² Máquinas gargalo é o termo utilizado para máquinas e/ ou equipamentos que possuem sua carga horária mais comprometida, que seja a mais sobrecarregada, ou que possua o processo mais lento na cadeia produtiva de um determinado produto e/ ou serviço. Disponível em: <https://www.nomus.com.br/blog-industrial/gargalo-de-producao/>. Acessado em: 31 de ago. de 2021.

O *Overall Equipment Effectiveness* (OEE), Indicador Geral de Eficácia do Equipamento, ou também conhecido como Indicador Global de Desempenho, é outro indicador que surgiu com o passar dos anos, com base na metodologia Manutenção Produtiva Total- TPM, desenvolvida por Seiichi Nakajima. Este indicador é definido a partir do indicador de disponibilidade, indicador de performance e indicador de qualidade.

O indicador de disponibilidade (ID) representa a relação entre o tempo total disponível e o tempo efetivo em operação. A Equação 15.6 demonstra a fórmula de cálculo do índice de Disponibilidade.

$$ID = \frac{(\text{tempo de produção planejado} - \text{tempo das paradas não planejadas})}{\text{tempo de produção planejado}} \quad (15.6)$$

O indicador de performance (IP) representa o percentual que o equipamento produziu relativo ao tempo teórico calculado pela engenharia. A Equação 15.7 demonstra a fórmula de cálculo do índice de Performance.

$$IP = \frac{(\text{Quantidade de Produção Real})}{(\text{Quantidade de Produção Teórica})} \cdot 100\% \quad (15.7)$$

O indicador de qualidade (IQ) representa o índice percentual de peças boas, em relação a todas as peças produzidas no período em análise. A Equação 15.8 demonstra a fórmula de cálculo do índice de Qualidade.

$$IQ = \frac{(\text{Quantidade de produtos processados} - \text{Quantidade de produtos refugados})}{(\text{Quantidade de produtos processados})} \quad (15.8)$$

Os valores obtidos nos índices formam a Equação 15.9 para se obter o resultado percentual de desempenho do processo. Através da análise desses indicadores, as empresas planejam e agem para melhorar o OEE.

$$OEE = ID \cdot IP \cdot IQ \quad (15.9)$$

OEE é uma ferramenta utilizada pelas empresas para medir, analisar e agir nas perdas de eficiência do processo, podendo ser utilizada em um processo unitário ou no

controle total da empresa. O cálculo do OEE mede a eficiência em relação à capacidade do equipamento, mensurando através da análise dos indicadores de Disponibilidade (ID), Performance (IP) e Qualidade (IQ) (Nakajima, 1989).

Um indicador de grande importância, segundo Moraes (2016), para mensurar investimentos em projetos, utilizados pelas indústrias para se dimensionar o tempo necessário para a recuperação do capital investido, chama-se Retorno de Investimento (*Return of Investment* – ROI), conhecido pelo termo em inglês *Payback*. Ele indica o período no qual os valores adquiridos se tornam iguais aos investidos inicialmente.

As empresas se beneficiam de cálculos de *Payback* para dimensionar de forma correta o prazo para um projeto, produto e/ou serviço obter efetivamente o lucro esperado. Normalmente esse período é medido em meses ou anos. A Equação 15.10 demonstra a fórmula para calcular um *Payback* de um determinado projeto (Moraes, 2016).

$$Payback = \frac{Investimento\ Inicial}{Ganho\ no\ Período} \quad (15.10)$$

Neste trabalho, os indicadores chave de desempenho KPIs serão monitorados a partir de processos de estampagem e soldagem a ponto. Motivo para uma breve revisão e referência do que são estes processos de manufatura.

Estampagem, segundo Chiaverini (1986), é um processo de conformação mecânica, geralmente a frio, que compreende um conjunto de operações, em que a chapa plana é submetida a transformações que modificam sua forma. As chapas sofrem um esforço mecânico, através da força gerada pela prensa, que proporciona uma deformação no material, alterando suas características. O esforço gera uma deformação do material provocando uma mudança na estrutura do aço, fazendo com que ele atinja a chamada zona plástica, permanecendo na forma empregada por dispositivos auxiliares de conformação, chamados moldes, matrizes ou ferramentas.

O processo de estampagem constitui-se de diversas operações, que são utilizadas de acordo com a necessidade de cada produto. As operações mais utilizadas são a operação de corte ou puncionamento. É aquela em que o material passa por um cisalhamento da área desejada de acordo com os punções e matrizes utilizadas.

A operação de conformação é o processo em que o material sofre propriamente a chamada conformação plástica²³, obtendo a forma dos moldes ou matrizes. A operação

²³ Conformação plástica é quando o material ultrapassa a tensão limite de escoamento (deformação

de repuxo é onde o material sofre a maior transformação, pois sofre um estiramento, tendo sua espessura diminuída, a fim de obter-se a forma desejada. Nesse caso utiliza materiais com teores de ductilidade²⁴ maiores que a maioria dos materiais. E por fim, a operação de dobramento ocorre quando os materiais são dobrados, a fim de obter-se as formas desejadas (Krelling, 2021).

As máquinas utilizadas para estampagem de chapas metálicas são prensas, que fornecem força e energia necessárias para a transformação dos materiais.

Geralmente, as prensas utilizadas para a conformação de chapas metálicas são do tipo mecânicas, constituídas basicamente por uma parte móvel, chamada de martelo, que é acionado através do movimento das bielas, que transmitem o movimento do volante, o qual é o responsável pela geração de energia cinética, responsável pela força para a conformação das chapas (Azevedo, 2003).

Soldagem a ponto por resistência, segundo Ruiz (2005), é um processo de soldagem que consiste na junção de peças, através da aplicação de pressão e de calor gerado pela aplicação de corrente elétrica, através de eletrodos de cobre, que através da força mecânica na região aquecida e que unem as peças, de modo que a região soldada fique com as características físicas iguais ou superiores aos metais de origem.

Segundo AWS (1995) *apud* Ruiz (2005), a força aplicada na região soldada deve ser aplicada antes, durante e após a passagem da corrente elétrica, para que as peças soldadas não sofram deformações durante o resfriamento da região, em que foi aplicada a corrente.

É importante salientar que a solda a ponto por resistência envolve uma grande interação entre as propriedades físicas e metalúrgicas dos materiais a serem soldados, dependendo dos efeitos externos aplicados a região onde se quer a soldagem, como por exemplo: a pressão de solda, corrente elétrica (I), tensão elétrica (V) e tempo de aplicação desses parâmetros.

A solda a ponto necessita que a aplicação dos parâmetros, anteriormente mencionados, seja adequada a cada tipo de produto, ou seja, os valores de corrente e

elástica), e mantém a mudança dimensional permanente. Disponível em: <http://joinville.ifsc.edu.br/~emerson.oliveira/Processo%20de%20Fabrica%C3%A7%C3%A3o/Noturno/CONFORMA>. Acesso em: 02 set. 2021.

²⁴ Ductilidade é a capacidade de um material sofrer deformação permanente (plástica) quando submetido a um esforço, conceito que define a maleabilidade do material. Disponível em: <http://joinville.ifsc.edu.br/~emerson.oliveira/Processo%20de%20Fabrica%C3%A7%C3%A3o/Noturno/CONFORMA>. Acesso em: 02 set. 2021.

tensão elétricas, bem como a pressão de soldagem, podem variar de acordo com a estrutura dos materiais, espessura das chapas e diâmetros da região de solda (eletrodos).

A aplicação de corrente elétrica (I) a uma determinada tensão (V), proporciona aos materiais aquecimento, até chegarem ao ponto de fusão, onde o mecanismo aplica a pressão, fazendo com as peças se unam através do resfriamento da região soldada.

O processo de soldagem a ponto é utilizado em diversos tipos de processos produtivos, tendo seu uso difundido e melhorado ao longo dos tempos. Com modernização dos equipamentos, os controles em tempo real da qualidade de solda, através de sistema de controle de malha fechada, proporcionam uma qualidade melhor da soldagem dos componentes (Ruiz, 2005).

2 METODOLOGIA

O presente trabalho se propõe a realização de estudo experimental de um sistema de prensagem e soldagem, com alimentação de parafusos de fixação de componentes metálicos, em que inicialmente foi avaliado, em pesquisa qualitativa, os indicadores de produção, refugos e métodos de trabalho, realizados antes da realização da automação do processo.

Para a realização desse trabalho, utilizou-se posteriormente a pesquisa exploratória, em que se buscaram ideias e soluções para resolver os altos índices de refugos, baixa produtividade e de altas quantidades de movimentações.

No trabalho são realizadas avaliações de parâmetros de produtividade, qualidade e logísticos, antes e após a realização da automação do processo de soldagem de parafusos de fixação, que serão acoplados ao processo de estampagem dos componentes metálicos.

A pesquisa utiliza métodos qualitativos, tendo em vista melhorar a eficiência do processo de soldagem dos parafusos, tanto no quesito quantidade, quanto no quesito qualidade. Tudo devido ao alto índice de refugos gerados pelo processo de soldagem manual dos componentes e a baixa taxa de produtividade da operação manual.

A pesquisa, por sua vez, tem como característica uma avaliação de um estudo de caso, onde o processo de soldagem de parafusos foi anexado ao processo de estampagem de chapas metálicas, em prensas progressivas.

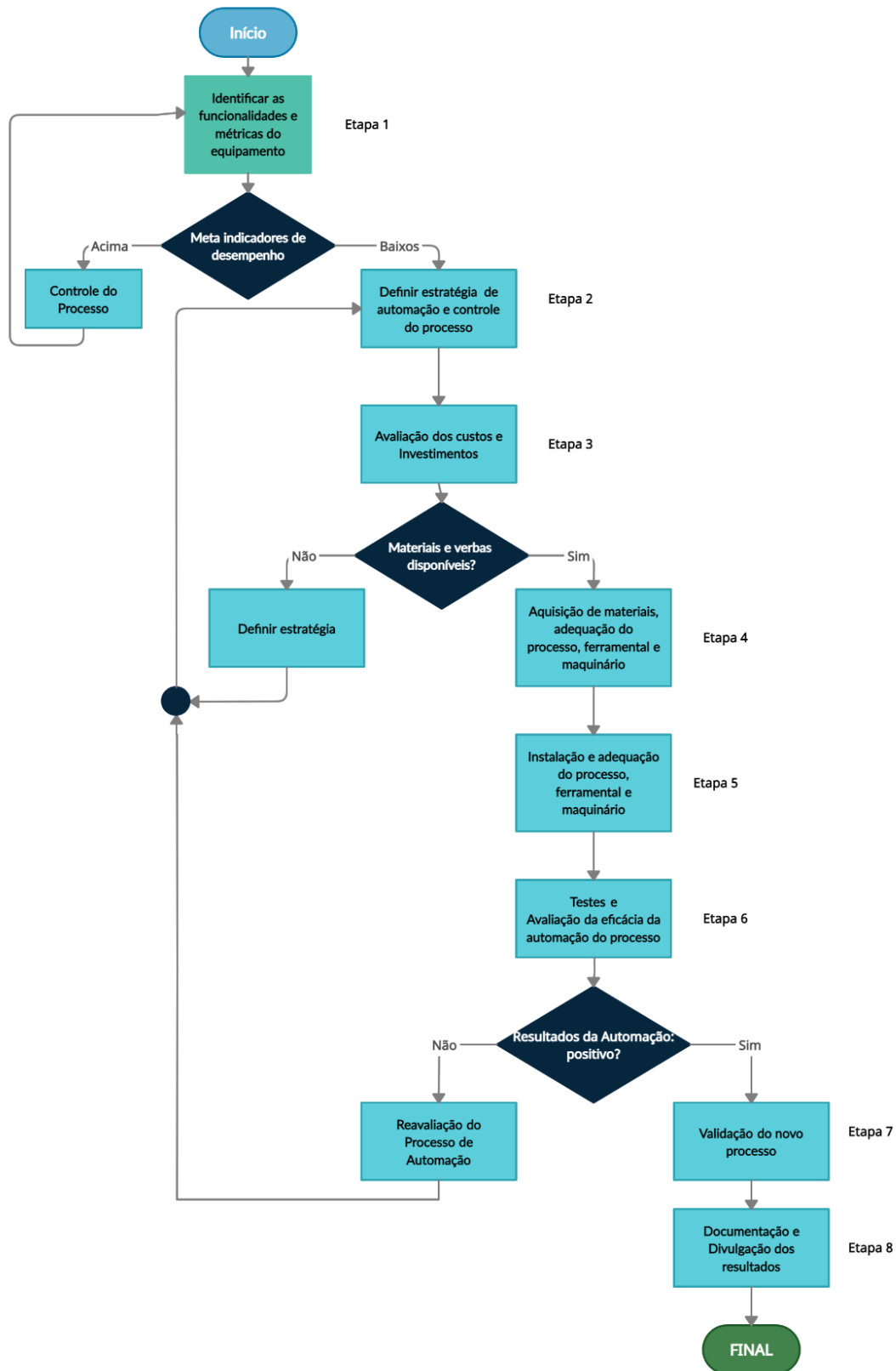
Esta pesquisa abrange e envolve toda a área de manufatura de processos de fabricação de componentes automotivos em geral, pois serve como embasamento técnico científico para soluções futuras, em incorporação de processos. Levando em consideração que processos podem ser automatizados com frequência, sempre buscando a economia de recursos, baseados em sistemas *Lean Manufacturing*, que visam entre outros objetivos, a redução e eliminação de desperdícios.

Os processos produtivos envolvem uma grande quantidade de etapas. E a automação desses processos visa não só reduzir desperdícios, mas também agregar mais valor aos produtos, seja na forma de qualidade e produtividade. Este trabalho se iniciou após pesquisa científica em processos de automação em prensas, e visa reunir os métodos já aplicados para chegar aos resultados que visem dar viabilidade técnica e econômica ao processo.

Para se realizar o projeto de automação do processo de estampagem e soldagem a ponto de componentes, é necessário um bom entendimento da sequência produtiva necessária para a confecção dos produtos. A linha de produção é basicamente uma sequência de processos industriais agrupados, que transformam a matéria-prima em produtos acabados ou semiacabados.

A Figura 15.1 apresenta o fluxograma de desenvolvimento da automação do processo de estampagem e soldagem a ponto, de componentes metálicos.

Figura 15.1 - Fluxograma de desenvolvimento da automação do processo de estampagem e soldagem a ponto de componentes metálicos



Fonte: Autor (2021).

A partir do fluxograma, são identificadas as 8 etapas de desenvolvimento da automação do processo de estampagem e soldagem a ponto, de componentes metálicos, que serão descritas a seguir:

a) etapa 1: é o instante onde se observa o processo, se analisa os indicadores e métricas de produção, a relevância da quantidade de pessoas para se produzir certa quantidade de produtos, a eficiência dos equipamentos antes de se considerar e realizar a automação do processo, os índices de qualidade e produtividade, para se realizar determinado lote de peças;

b) etapa 2: após a análise dos indicadores, determina-se o que será feito em relação ao processo, quais as áreas que serão escolhidas para serem modificadas no processo, quais tecnologias serão empregadas, quais os recursos serão necessários para a execução das atividades propostas para a melhoria na automação do processo e dos equipamentos;

c) etapa 3: após a determinação do que será realizado no processo e no equipamento, será realizado um levantamento de recursos necessários para a execução das tarefas, como por exemplo: mão de obra, serviços de usinagens, aquisição de maquinários, aquisição dos insumos necessários para a instalação dos equipamentos, modificações na estrutura já existente, compra de componentes eletroeletrônicos, entre outras;

d) etapa 4: é considerado o tempo para a aquisição dos materiais, montagens externas (sem parada de máquina), realização de serviços executados por terceiros, ligações e testes dos equipamentos necessários para a automação do processo, e montagem diretamente na máquina, realizando a integração dos processos;

e) etapa 5: é considerado o tempo de instalação dos equipamentos com a máquina parada, considerado o tempo para a instalação e testes do processo, ajustes do maquinário e do ferramental, realizando os testes necessários para o correto funcionamento do novo processo;

f) etapa 6: é a etapa do processo em que se ajustam os parâmetros de produção, velocidades de estampagem, velocidade de solda, ajustes de correntes e tensões da máquina de solda, para o atendimento das características de qualidade e do correto funcionamento do processo, atendendo as demandas dos produtos;

g) etapa 7: é considerado a etapa de validação do processo, realizando a confecção de padrões para regulagens de máquina e criação de documentos de qualidade;

h) etapa 8: é considerado o momento em que se reúne a documentação do processo, elaborando o plano de divulgação de resultados de qualidade e produtividade, analisando

os resultados e análises de viabilidade econômica e realizando ações de melhorias, tanto de processo, quanto de documentação.

3 RESULTADOS E ANÁLISE

A primeira ação, etapa 1, foi analisar os indicadores de desempenho de produtividade, qualidade e de movimentação do processo. Os indicadores de produtividade foram calculados de acordo com a saída de peças para o cliente, somando-se as etapas do processo de estampagem e soldagem a ponto, do pino, mesmo sendo produzidas em máquinas diferentes.

Para o indicador de produtividade do processo de estampagem, a prensa tinha capacidade de produzir 1.200 peças por hora e com produção média de 24.000 peças por mês, para atender a demanda de pedidos do cliente. Já a produtividade da máquina de solda manual era de 150 peças por hora, sendo em média 12,5% da produção da prensa. O processamento da prensa é de 20 horas, contado somente o tempo produtivo, já o tempo produtivo da máquina de solda é de 160 horas de trabalho.

Considerando apenas um turno de trabalho de 8 horas, a produção da prensa leva 2,5 dias para atingir a quantidade necessária de peças ao mês, enquanto a máquina de solda leva 20 dias. A Tabela 15.1 demonstra a quantidade de peças produzidas, durante 7 meses anteriores a automação do processo, face a quantidade de peças com refugos, geradas durante o processamento dos conjuntos.

Tabela 15.1 - Quantidade produzida mês em função dos refugos gerados no processo

Meses	Quantidade produzida	Quantidade de peças com defeitos durante o processo
Janeiro	24.000	980
Fevereiro	14.000	525
Março	23.000	786
Abril	24.100	789
Maior	23.000	1.093
Junho	23.900	974
Julho	24.000	980

Fonte: Adaptado de Gestamp (2019).

De acordo com o levantamento do histórico de produção, demonstrados na tabela anterior, os valores obtidos de produtividade da prensa são cerca de 8 vezes maiores que a produtividade da máquina de solda ponto.

$$\textit{Produtividade Prensa (7 meses)} = \frac{156.000 \textit{ peças}}{1.200 \frac{\textit{peças}}{\textit{hora}}} = 130 \textit{ horas}$$

De acordo com a equação acima, a produtividade da prensa nesse período de 7 meses é de 130 horas dedicadas a produção desse produto. Já a produtividade da máquina de solda a ponto manual é de 1.040 horas de produção, como pode ser visto a seguir.

$$\textit{Produtividade Máquina de solda a ponto (7 meses)} = \frac{156.000}{150 \frac{\textit{peças}}{\textit{hora}}} = 1.040 \textit{ horas}$$

A produtividade também deve ser medida pela quantidade de peças fabricadas pela quantidade de pessoas necessárias, para realizar determinada operação. No caso da prensa de estampagem que utiliza 2 operadores, o número de horas é expresso pelo cálculo de produtividade homem/hora abaixo. Levando-se em conta que o custo médio de um operador de produção é de R\$ 2.880,00 por mês, ou seja, R\$ 14,40 por hora, o custo de produção, levando somente o custo operacional, é de aproximadamente R\$ 3.744,00, para a quantidade de peças fornecidas durante o tempo de 130 horas de produção do determinado produto.

$$\textit{Produtividade Homem/ hora (prensa)} = \frac{156.000 \textit{ peças}}{((2 \textit{ operadores}) \times 1.200 \textit{ peças/hora})}$$

De acordo com a produtividade da prensa expressada acima, se pode comparar com a produtividade da máquina de solda a ponto, que necessita de 3 operadores para a realização das tarefas de solda, inspeção e transporte do produto. Nesse caso, o custo operacional é de R\$ 44.928,00, levando em conta somente o tempo de operação desse produto, no tempo determinado de análise, mencionado na Tabela 15.1.

$$\textit{Produtividade Homem/ hora (solda)} = \frac{156.000 \textit{ peças}}{((3 \textit{ operadores}) \times 150 \textit{ peças/hora})}$$

A qualidade dos produtos também reflete diretamente nos indicadores estudados na etapa 1, e pode ser mensurado de acordo com o cálculo abaixo, que demonstra a razão da diferença entre os produtos que atendem as exigências do cliente e os produtos processados, durante o período de análise do produto, mencionado na Tabela 15.1.

$$IQ = \frac{(156.000 - 6.127)}{156.000} = 96\%$$

O índice de disponibilidade levado em conta nesse trabalho, refere-se a razão da diferença entre o tempo de produção planejado menos o tempo de paradas não programadas e o tempo de produção planejado. Pode ser visto conforme demonstrado a seguir.

$$ID = \frac{(110,79 - 6,72)}{110,79} = 93\%$$

O índice de Performance também é levado em conta nesse trabalho, pois é necessário para determinar o índice geral de desempenho do processo ou produto.

Nesse caso, o índice é calculado através da razão entre os valores de quantidade de peças produzidas e a quantidade de peças planejadas. A equação seguinte demonstra o cálculo de performance do processo de solda a ponto, pois é a última etapa antes do produto ser enviado ao cliente final.

$$IP = \frac{150.823}{156.950} * 100\% = 96\%$$

Com esses indicadores acima mencionados, é possível mensurar o desempenho final do produto que é a operação de soldagem a ponto, do pino. Cujo o objetivo é aumentar a sua produtividade em relação ao processo de estampagem das chapas metálicas, que formam os componentes. Aumentando assim a sua eficácia geral do processo.

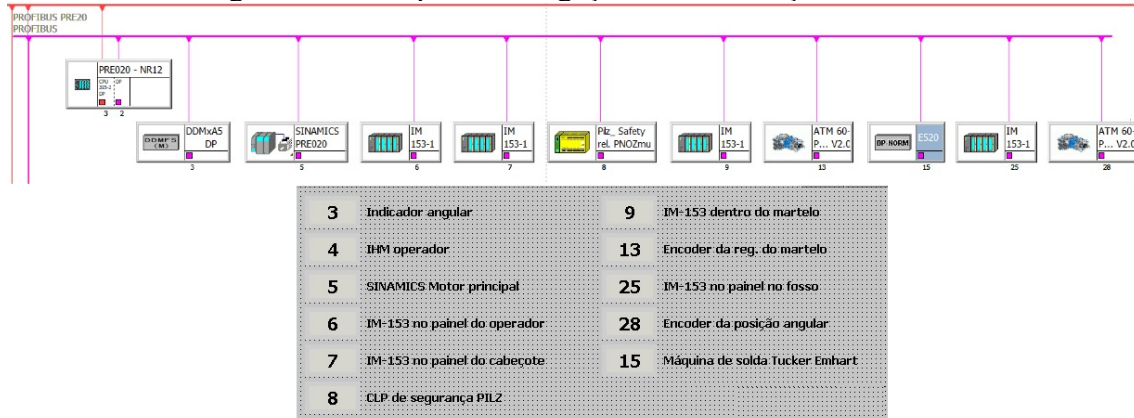
O cálculo a seguir mostra o cálculo do OEE com base nos índices anteriormente mencionados.

$$OEE = 93\% \times 96\% \times 96\% = 85,7\%$$

O tempo de atravessamento, também conhecido como *Lead-Time* (LT), do produto que é estudado nesse estudo de caso, é basicamente a diferença entre a produção de um dia da máquina de solda a ponto e a demanda mensal que é produzida pela prensa em 2,5 dias, ou seja, a peça que é produzida na prensa pode levar até 20 dias de produção na máquina de solda a ponto, para ser destinada ao cliente. Podendo assim, sofrer interferências externas, oriundas de transportes e armazenamentos intermediários, para o atendimento do pedido do cliente.

A segunda ação, etapa 2, foi determinar a estratégia a ser utilizada para automação do processo de solda a ponto, juntamente com a prensa. Foi realizado um cronograma para a execução das tarefas de estudo de viabilidade de comunicação entre as máquinas, a disponibilidade de espaço físico para a instalação dos componentes necessários e a utilização das tecnologias necessários para a execução e controle do processo, bem como a interação entre as máquinas via rede Profibus. A Figura 15.3 mostra o esquema de comunicação entre as máquinas.

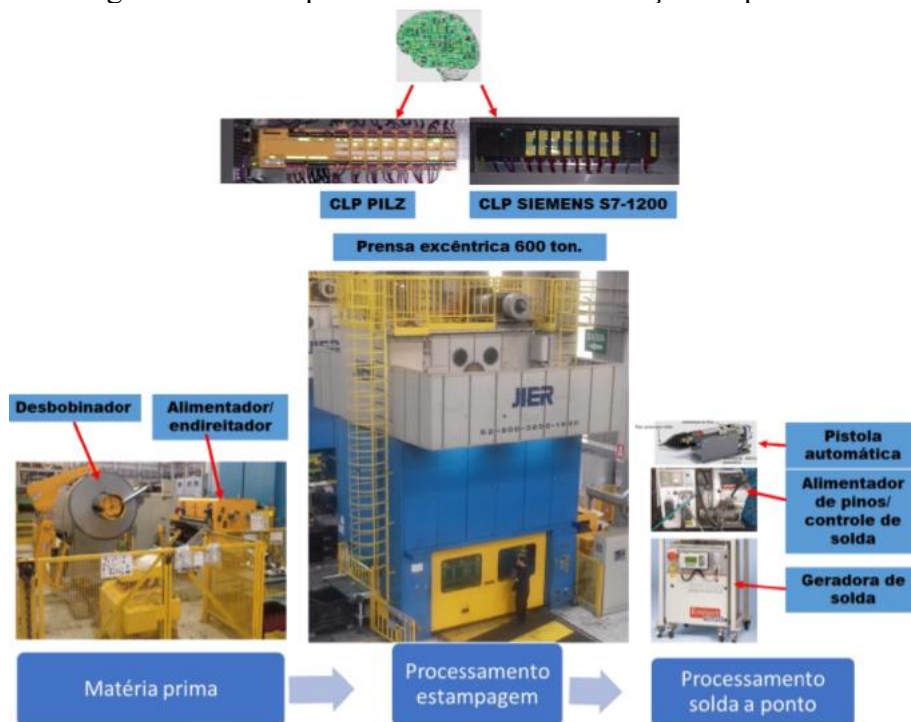
Figura 15.3 - Esquema de ligação e comunicação Profibus



Fonte: Autor (2021).

A prensa utilizada foi a mesma da operação antes da automação. Uma prensa mecânica do tipo excêntrica, com 620 toneladas de capacidade, equipada com sistema de alimentação e correção da planicidade da chapa, através do sistema desbobinador alimentador/endireitador, máquina geradora de solda a ponto, pistola automática e alimentador de pinos, CLP da Siemens e CLP da Pilz, para controle do processo e integração entre as máquinas, como demonstra a Figura 15.4.

Figura 15.4 - Máquinas utilizadas na automação do processo



Fonte: Autor (2021).

A terceira ação, etapa 3, foi realizar a programação das tarefas a serem realizadas. Foram definidos orçamentos e definição de tempos necessários para a execução das tarefas externas ao processo de automação, pois havia a necessidade de manufaturas externas, programações e testes, antes de serem instalados efetivamente na prensa.

A Tabela 15.2, demonstra a relação dos materiais necessários para a adaptação da ferramenta de estampo, serviços de usinagem para realizar o acoplamento da pistola automática da máquina de solda e quantidade de horas de trabalho interno de engenheiros, técnicos de manutenção e ferramentaria.

Tabela 15.2 - Serviços, materiais e horas de trabalho

Atividade/ Tarefa/ Material	Quantidade	Valor R\$
Aços para adaptação de pistola de solda	1 unidade	1.950,00
Usinagem externa para adaptação de pistola de solda	27,5 horas	2.472,00
Horas de projeto de engenharia	16 horas	3.110,40
Horas de ferramentaria/ técnico ferramenteiro (usinagem interna)	30 horas	2.700,00
Horas de manutenção (mecânica/ eletrônica/ automação)	36 horas	3.240,00
Horas de máquina em ajuste de processo	16 horas	3.120,00
Custo total do investimento R\$ 16.592,40.		

Obs: Preços referentes a dezembro de 2021.

Fonte: Autor (2021).

A quarta ação, etapa 4, foi realizar a programação para a realização das tarefas da etapa anterior, e realizar a montagem externa, ou seja, a montagem da pistola de solda na ferramenta de estampo, antes da instalação propriamente na prensa. De certa forma, a montagem externa serviu como testes de funcionamentos e foi possível a realização de testes eletromecânicos e ajustes e programação de telas da Interface Humano-Máquina IHM, para a execução e monitoramento do processo diretamente no painel da prensa.

A máquina de solda a ponto e alimentação de parafusos foi adquirida de outros projetos, que ficaram obsoletos em determinado momento. Máquinas que foram utilizadas em outros projetos e no momento ficam à espera de outra finalidade, automações, melhorias em processos, entre outros.

A parte de ligações elétricas, cabos elétricos, cabos de redes, disjuntores, contadoras, são materiais de uso do cotidiano. Estão disponíveis nos estoques internos da empresa. Com isso o custo não foi levado em conta nesse trabalho pois foram utilizados

concluir o processo de soldagem, regulagens de altura de estampagem, de velocidade da prensa e pressão pneumática dos cilindros equilibradores da prensa.

Por último, foi criado uma tela que demonstra a situação geral da comunicação em rede, diagnosticando e demonstrando possíveis falhas do processo e uma tela de condições gerais de parametrização, como, por exemplo: posição da chapa, controle de passo, controle de saída de peças através de sensores indutivos, contadores e monitores de carga, que medem a força exercida na prensagem.

A Figura 15.6 mostra as telas de IHM criadas para facilitar aos operadores e aos técnicos a visualização do estado de funcionamento do sistema de solda a ponto integrado à prensa.

Figura 15.6 - Telas de IHM criadas para parametrização e controle de solda



Fonte: Autor (2021).

A rede Profibus foi implementada para monitorar em tempo real a situação da comunicação entre as máquinas, em que o CLP da Siemens realiza a função de mestre e o restante dos componentes funcionam como escravos, para reduzir os erros gerados pelo processo anterior a automação e facilitar o diagnóstico imediato de falhas.

Na Figura 15.7 está ilustrado alguns dos componentes que foram ligados em rede, para a automação da solda a ponto juntamente com a prensa.

Figura 15.7 - Rede Profibus física do projeto



Fonte: Autor (2021).

A ligação da parte elétrica foi realizada no mesmo painel elétrico da prensa, pois possuía espaço para implementação de acessórios. A alimentação da máquina de solda a ponto é de 380V trifásico. Foi utilizado a alimentação geral do painel existente, acrescentado de disjuntor específico para a máquina de solda. A Figura 15.8 mostra este painel descrito.

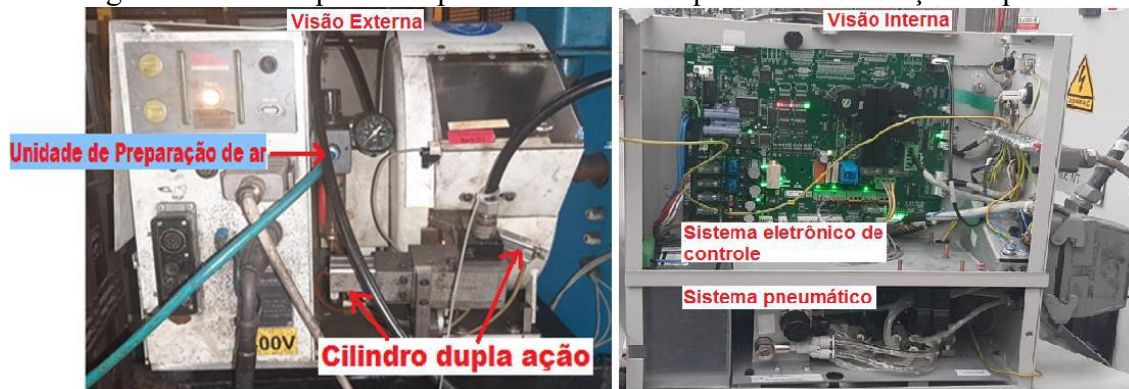
Figura 15.8 - Esquema de ligação máquina de solda ponto



Fonte: Autor (2021).

O circuito pneumático da máquina de alimentação de pinos é composto por conjunto de preparação de ar comprimido, válvula direcionais dupla ação com acionamento elétrico e retorno por molas e cilindros de dupla ação. Estrutura que pode ser observada na Figura 15.9.

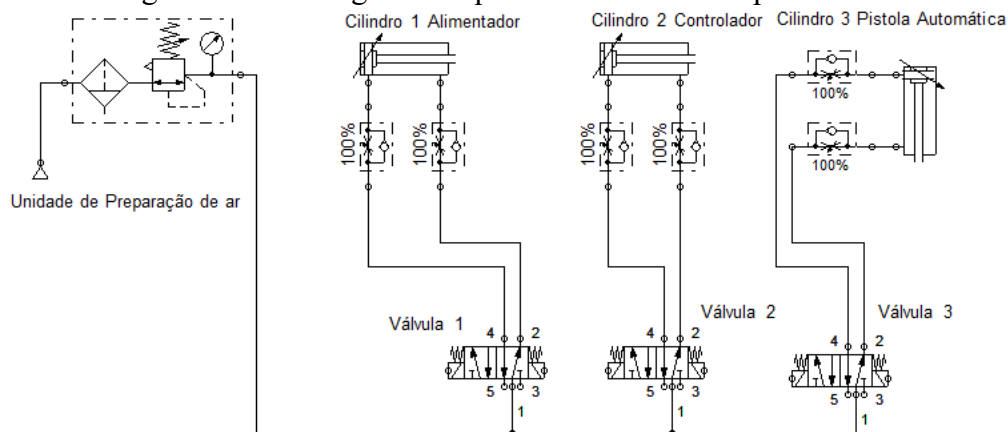
Figura 15.9 - Componentes pneumáticos da máquina de alimentação de pinos



Fonte: Autor (2021).

O circuito pneumático está descrito a seguir no diagrama pneumático, editado através do *software* FluidSim da Festo e demonstrado conforme a Figura 15.10.

Figura 15.10 - Diagrama esquemático do circuito pneumático



Fonte: Autor (2021).

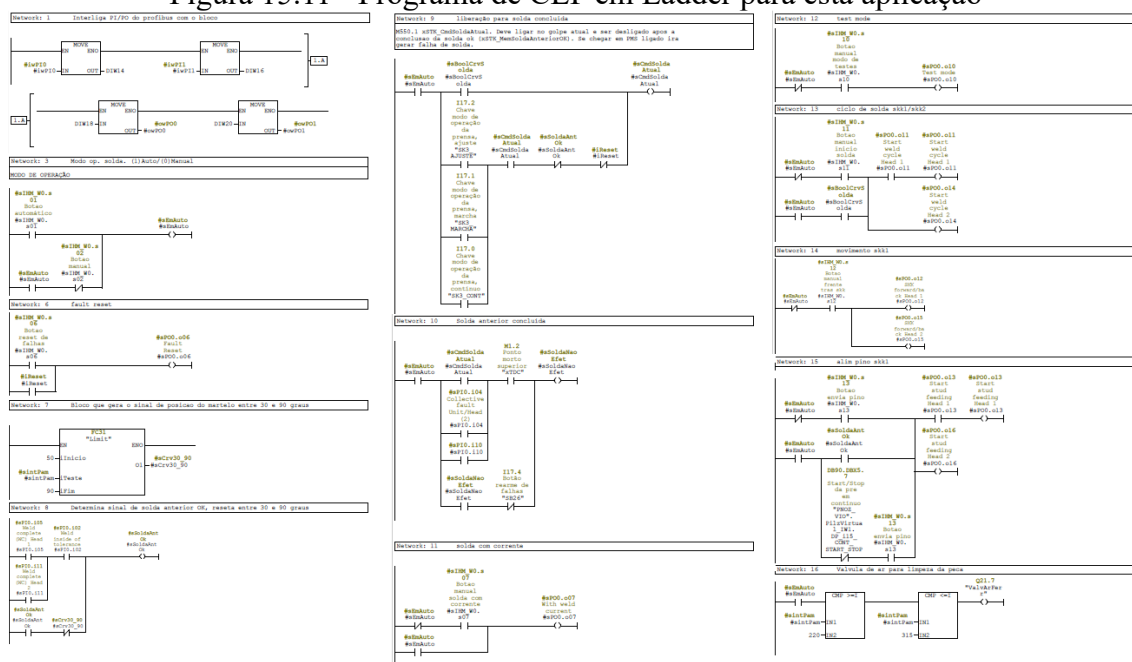
O programa de CLP foi ajustado para permitir o funcionamento das máquinas de forma síncrona, ou seja, atuarem de forma conjunta. Foi incrementado módulos de entradas e saídas, para aumentar a capacidade de processamento e execução do CLP. Foi utilizado programação em ladder, com o recurso da Siemens, que permite a criação de blocos que funcionam como subprogramas.

Para facilitar a programação, foi criada uma tabela de entradas e saídas (I/Os), que ilustram as funções criadas como sinais de entradas e saídas, que atuam de forma a permitir o funcionamento das máquinas de forma interativa e colaborativas entre si.

As programações foram inseridas juntamente com as existentes no programa atual, de acordo com as instruções da Norma IEC6131-3 e procedimentos internos da empresa. Relacionam as operações da máquina de solda a ponto à operação da prensa excêntrica.

Foram criadas condições para que os operadores pudessem escolher o modo de operação, ou seja, ajustes, modo marcha, que estampa e solda uma peça e interrompe o processo, e o modo contínuo, que produz de forma interrupta até que ocorra algum evento externo, seja por falta de algum sinal da prensa ou da máquina de solda. A Figura 15.11 demonstra o programa criado para o funcionamento da solda a ponto.

Figura 15.11 - Programa de CLP em Ladder para esta aplicação



Fonte: Autor (2021).

A sexta ação, etapa 6, é o tempo utilizado para ajustes de parâmetros de produção. Tempo utilizado com as máquinas livres para serem ajustados os devidos fatores, que porventura viessem prejudicar a qualidade do produto, ou do processo em si, como exemplo: velocidade de produção, corrente elétrica (I), tensão elétrica (V) de solda, tempos de avanço e recuo da pistola automática, ângulo da prensa em que a solda deve

ser atuada, de forma que o pino seja soldado no momento correto em relação ao processo de estampagem.

Foram utilizadas 3 semanas de produção do item, ou seja, 3 lotes de produção para realizar os testes e ajustes necessários aos processos de estampagem e soldagem a ponto, com alimentação automática de pinos roscados, com a finalidade de garantir e aumentar a qualidade e a produtividade do produto.

A Figura 15.12 mostra o cronograma das atividades realizadas com a máquina parada fora de produção, sendo utilizada especificamente para o ajuste do processo.

Figura 15.12 - Atividades realizadas com máquina fora do processo de produção



Fonte: Autor (2021).

A sétima ação, etapa 7, é realizado a elaboração das documentações referente a qualidade do produto, planos de controle do processo de estampagem e pistola de solda a ponto, parâmetros de regulagens da prensa e da máquina de solda a ponto.

Os documentos são necessários para manter a padronização do processo, nas inúmeras vezes em que a ferramenta de estampo entrar em produção. Os valores de tensão (V), corrente elétrica (I) e tempo de ciclo de solda foram determinados durante os testes realizados. Foram padronizados e somente são alterados se, porventura, tiver alguma variação na chapa ou pino para ser soldado.

A Figura 15.13 mostra o plano de controle criado para a realização da troca da ferramenta e preparação da máquina.

Figura 15.13 - Plano de controle de troca de ferramenta

Instrução de Set-up																							
PINOS DE SET-UP 		Parâmetros de máquina <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Programar Válvula</th> <th>Tolerância</th> <th>Unidade de Medida</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Pressão de Contrabalanco</td> <td>0,46</td> <td>$\pm 0,02$</td> <td>Mpa</td> </tr> <tr> <td>Velocidade</td> <td>20</td> <td>$\pm 1,0$</td> <td>RPM</td> </tr> <tr> <td>Ajuste de Altura</td> <td>1045,5</td> <td>$\pm 0,3$</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>Ângulo de Alimentação Entrada 250 ± 10</td> <td>Ângulo de Alimentação Saída 30 ± 10</td> <td>Liberação do Piloto Entrada 150 ± 10</td> <td>Liberação do piloto saída 190 ± 10</td> </tr> </tbody> </table>			Programar Válvula	Tolerância	Unidade de Medida	Pressão de Contrabalanco	0,46	$\pm 0,02$	Mpa	Velocidade	20	$\pm 1,0$	RPM	Ajuste de Altura	1045,5	$\pm 0,3$	mm	Ângulo de Alimentação Entrada 250 ± 10	Ângulo de Alimentação Saída 30 ± 10	Liberação do Piloto Entrada 150 ± 10	Liberação do piloto saída 190 ± 10
	Programar Válvula	Tolerância	Unidade de Medida																				
Pressão de Contrabalanco	0,46	$\pm 0,02$	Mpa																				
Velocidade	20	$\pm 1,0$	RPM																				
Ajuste de Altura	1045,5	$\pm 0,3$	mm																				
Ângulo de Alimentação Entrada 250 ± 10	Ângulo de Alimentação Saída 30 ± 10	Liberação do Piloto Entrada 150 ± 10	Liberação do piloto saída 190 ± 10																				
Fixação Parte Inferior 		Fixação Parte Superior 																					

Fonte: Autor (2021).

Os valores de tensão, corrente e tempo de solda foram definidos durante as etapas anteriores e somente são alterados pelo setor de manutenção da empresa. A Figura 15.14 demonstra a lista dos parâmetros inseridos na máquina de solda, para a realização do processo.

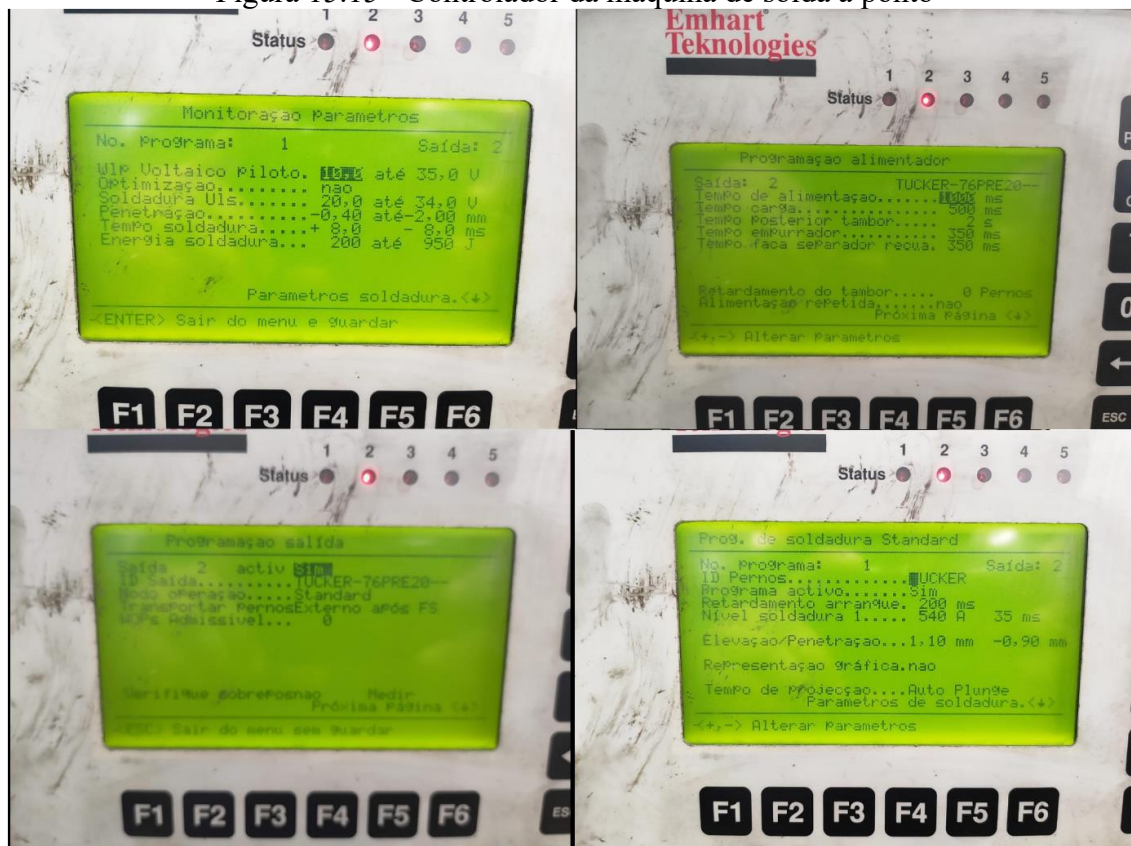
Figura 15.14 - Parâmetros máquina de solda

F 378 CARTAS DE PARÂMETRO			
Validação do Processo de Solda Pino			
Dados da Estação de Trabalho		Dados do Controlador de Solda	
Peça:		Nº DCE:	
Célula:	PRE020	Art. Nr:	
Robo:	N/A	Netz.V.:	
Soldadura de Pi:	TUCKER	Type:	DCE1500
Código do Pino:		Fabr. Nr.:	
Estação:	-	Fabricante:	EMHART
Operação:	-	País fabr.:	
		Dados da Pistola de Solda	
		Nº Ident:	Nº 12
		Type:	LM310
		Fabr. Nº:	
PARÂMETRO DE SAÍDA		PARÂMETRO DE SOLDA	
PROGRAMAÇÃO DE SAÍDA		PROGRAMA DE SOLDADURA	
PARÂMETRO	REFERÊNCIA	PARÂMETRO	REFERÊNCIA
Saída Nº	2	Nº do Programa	1
ID de Saída	TUCKER-76PRE20	Saída	2
Modo de Operação	STANDARD	ID de Pernos	TUCKER
Transportar Pernos	EXTERNO FS	Programa Ativo	SIM
wOP's Admissível	0	Retardamento de Arranque (ms)	50
Verifique sobreposição	NÃO	Nível de Soldadura (corrente - tem)	540A - 35ms
Tempo de Alimentação (ms)	600	Elevação/penetração (mm)	1,1 a -0,9
Tempo de Carga (ms)	0	Representação Gráfica	NÃO
Tempo Posterior Tambor (ms)	5	Tempo de Projecção	AUTO PLUG
Tempo Empurrador (ms)	350	Ulp Voltaje Piloto (Min - Máx)	10 - 35V
Tempo Faca Separadora Recua	350	Optimização	NÃO
Retardamento Tambor (pernos)	0	Soldadura Uls (Mín - Máx)	20 - 34V
		Penetração (mm)	(-0,40) a (-1,15)
		Tempo de Soldadura (ms)	8 ms
		Energia de Soldadura (J)	200 - 950

Fonte: Autor (2021).

Os parâmetros foram inseridos de forma manual, durante os testes realizados. Tempos de ciclo, tensão e corrente foram definidos para garantir a qualidade da solda do pino e para manter a produtividade de acordo com o esperado. A Figura 15.15 mostra a tela da máquina de solda, onde são inseridos os parâmetros de soldagem a ponto.

Figura 15.15 - Controlador da máquina de solda a ponto



Fonte: Autor (2021).

O processo de estampagem e solda a ponto, tem como plano de controle e itens para verificações durante a produção, a presença de pino, posição e empenamento do pino, resistência da solda do pino, diâmetro dos furos, distâncias entre furações, formato e qualidade do estampado.

A qualidade da solda é medida através do torque do pino soldado e inspeções visuais de forma e posição. As características são analisadas e as verificações são realizadas durante o início e durante o processo com a periodicidade determinada nos testes.

Para manter um correto funcionamento do processo, além de criar os planos de controle, foi criado um alerta de qualidade, que ficará diretamente no posto de trabalho e terá que ser acompanhado pelos operadores durante o processo de produção desse item.

A oitava ação, etapa 8, é realizar a documentação do processo atualizada e criar comparativos de qualidade e produtividade. Calcula-se a viabilidade e o retorno do investimento, para realizar a divulgação dos resultados perante funcionários, gestores, empresa e acionistas.

A Tabela 15.3 realiza a demonstração do comparativo de produtividade dos processos individualizados e os processos unificados.

Tabela 15.3 - Comparativo Produtividade quantidade de pessoas e quantidade de peças

Processo Antigo Individual				Processo Novo Integrado			
Etapa	Horas de produção	Quantidade de peças	Número de funcionários	Etapa	Horas de produção	Quantidade de peças	Número de funcionários
Estampagem	23	24.000	2	Estampagem	30	24.000	2
Soldagem a ponto	160	24.000	1	Soldagem a ponto	--	2.400	--
Inspeção da solda	160	24.000	1	Inspeção da solda	--	2.400	--

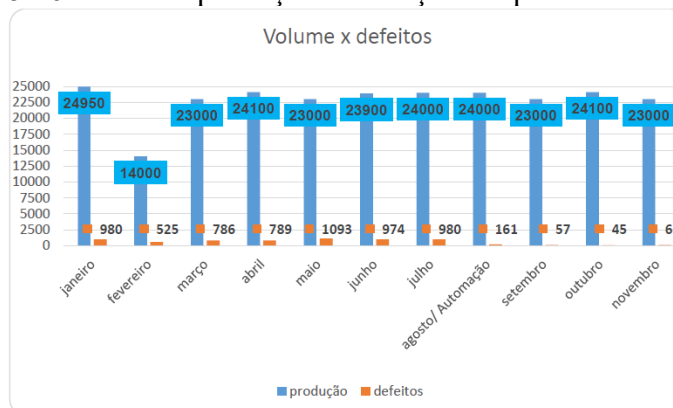
Fonte: Autor (2021).

A tabela apresentada demonstra a evolução do processo, ao levar-se em conta a quantidade de peças *versus* a quantidade de pessoas envolvidas no processo. Com a integração das máquinas e a utilização da tecnologia de comunicação e controle, notou-se o aumento significativo da produtividade do processo.

A qualidade do processo teve aumento significativo, devido a automação das etapas, com a criação de parâmetros, planos de controles, gravação de receitas e controles durante o processo.

A eficácia do processo teve aumento significativo, como demonstra a Figura 15.16.

Figura 15.16 - Gráfico produção em função da quantidade de defeitos



Fonte: Autor (2021).

A verificação da eficácia da qualidade do processo é analisada em todas as peças. A verificação ocorre quando os operadores da prensa retiram a peça da esteira de saída e antes de colocarem nas caixas.

O estoque intermediário de peças diminuiu consideravelmente, pois anteriormente havia a necessidade de uma área muito grande, devido a quantidade de peças em cada caixa.

A alta capacidade produtiva da prensa era um revés em relação à máquina de solda a ponto, pois havia a demanda de muitas caixas e uma área grande específica para armazenar as peças.

Levando em consideração a produtividade da prensa, seriam necessárias 23 horas produtivas para produzir a demanda mensal do produto. Em relação a produtividade da máquina de solda a ponto, seria necessário que algumas caixas ficassem estocadas durante um mês inteiro, pois a capacidade era de 160 horas produtivas, ou seja, 20 dias completos de 8 horas de trabalho.

Com isso era necessário um estoque intermediário de aproximadamente 37 caixas, que ocupavam em média uma área de 12m², pois as caixas mediam 1,2m x 1,2m x 1m de altura, e podiam ter no máximo 4 caixas de altura durante o empilhamento.

Com a automação do processo, a quantidade de caixas para estoque intermediário do processo estampagem e soldagem a ponto terminou. Havendo a necessidade de somente 2 caixas no final da linha da prensa, pois após a peça sair da prensa, já com o pino soldado, é alocada em caixas com capacidade de aproximadamente 630 peças, que vão diretamente à próxima etapa do processo de fabricação do conjunto soldado, com outras peças.

A Figura 15.17 demonstra a quantidade atual de caixas utilizadas durante o processo de estampagem e soldagem.

Figura 15.17 - Caixas de peças durante processo



Fonte: Autor (2021).

A quantidade de movimentações de caixas para o estoque interno diminuiu, pois havia a necessidade de alocar as caixas com as peças somente estampadas, para posteriormente levá-las à máquina de solda a ponto manual.

Após realizar as verificações dos resultados operacionais do processo, nota-se a importância de mensurar também os ganhos financeiros da automação. Para isso, foi calculado o *payback*, ou seja, o retorno do investimento aplicado para a realização da automação do processo de estampagem e soldagem a ponto.

Os valores obtidos servem também para mensurar aplicações futuras, em novas oportunidades de melhorias em outras possíveis automações. E para confirmar a viabilidade do processo.

A máquina de solda a ponto foi utilizada de instalações de processos anteriores, pois a indústria do ramo automotivo é muito dinâmica, em que ao mudar os modelos dos automóveis produzidos e mudam muitos de seus componentes. Tanto produtivos quanto componentes de apoio, como dispositivos, suportes entre outros.

Para fim de custos, nesse trabalho de pesquisa não levar-se-á em consideração o valor da aquisição do conjunto da máquina de solda a ponto, pois como relatado anteriormente, a máquina já estava disponível à empresa, devido a processos anteriores descontinuados.

Os retornos financeiros basear-se-ão em redução do número de peças defeituosas e número de pessoas envolvidas no processo de fabricação do componente em estudo.

Os valores referentes a movimentações e estoque não serão levados em conta nesse estudo de caso, pois não é especificamente o objetivo desejado. Serão considerados somente valores referentes a serviços realizados à implantação da máquina de solda na prensa, instalação da pistola de solda juntamente a ferramenta de estampo, tempos de mão-de-obra dos técnicos de manutenção, ferramentaria e engenharia, que trabalharam na execução do projeto.

Os custos de refugos são calculados de acordo com a Tabela 15.4, que mostra as médias de produção analisadas antes e após a automação do processo, levando em conta as taxas de refugos.

Tabela 15.4 - Média de produção versus taxa de refugos e saldo em reais

		média dos defeitos janeiro a julho	taxa de refugo	refugo atual em relação ao anterior
média das peças janeiro a julho	22421,43	875,29	3,90%	8,96%
↓ Automação ↓		média dos defeitos agosto a novembro		
média das peças agosto a novembro	23525	82,25	0,35%	
			prejuízo	saldo
média das peças janeiro a julho	valor R\$	R\$ 124.967,63	R\$ 4.878,48	R\$ 120.089,15
↓ Automação ↓				
média das peças agosto a novembro	valor R\$	R\$ 135.967,95	R\$ 475,38	R\$ 135.492,57

Fonte: Autor (2021).

Como visto na tabela, os valores das atividades inerentes às automações do processo custaram o valor de R\$ 16.592,40. E com base nesse valor será calculado o *payback*.

O retorno do investimento (ROI) ocorreu com um pouco mais de um mês de produção do novo processo, como demonstrado no cálculo abaixo, pois a redução do número de peças sucateadas, devido à má qualidade de solda do pino, elevou a qualidade do produto, aumentando o rendimento financeiro do processo.

$$ROI = \frac{16.592,40}{11.752,60} = 1,41$$

A partir dos resultados obtidos no capítulo anterior, foram realizadas análises comparativas dos valores adquiridos após a automação do processo de estampagem e soldagem a ponto. Com os valores dos processos individualizados anteriormente a realização da automação e baseados nos trabalhos que fundamentaram o referencial

teórico do presente estudo de caso: a monografia de Martins (2019), o artigo de Cabral, Silva e Del Pino (2018) e dissertação de Lewandoski (2019).

Inicialmente, foram comparados os valores de produtividade homem/hora do processo do conjunto soldado. Os valores são referentes a capacidade de produção do produto, ou seja, da peça estampada com o pino, no processo de solda a ponto.

Dessa forma, foi criada a Tabela 15.5, que ilustra esses ganhos de produtividade no processo automatizado.

Tabela 15.5 - Comparação produtividade homem/hora

Processo Antigo Individual				
Processo	Média de produção mensal	Horas produtivas	Número de funcionários	Produtividade Homem/hora
Estampagem	22.421 peças	20 horas	2	600 peças/hora
Solda a Ponto	22.421 peças	160 horas	1	150 peças/hora
Inspeção Qualidade	22.421 peças	160 horas	1	150 peças/hora
Produtividade Total da Solda a Ponto: Homem/hora	22.421 peças	160 horas	2	75 peças/hora
Produtividade Total do Processo Homem/hora	22.421 peças	20 horas estampagem + 160 horas solda	2+2	67 peças/hora
Processo Estampagem e Soldagem a Ponto				
Processo	Média de produção mensal	Horas produtivas	Número de funcionários	Produtividade Homem/hora
Estampagem + Solda a Ponto + Inspeção Qualidade	23.525 peças	27 horas	2	444,5 peças/hora

Fonte: Autor (2021).

A tabela demonstra a evolução da produtividade do processo unificado em relação ao processo individualizado, mesmo havendo um aumento de horas produtivas de 35%, utilizadas pela prensa.

A taxa de produtividade homem/hora em relação ao produto melhorou consideravelmente em 6,6 vezes, ou seja, o aumento da carga máquina não compromete o resultado obtido pelo ganho de qualidade e produtividade, resultantes do processo de automação dos equipamentos.

A qualidade obtida através da integração dos processos, aumentou devido a confiabilidade fornecida pelos equipamentos, tendo em vista que antes da automação das máquinas o processo, a produtividade e a qualidade dependiam diretamente da experiência dos operadores, que produziam as peças de forma manual, com a pistola de

solda manual, que havia a necessidade de alimentação dos pinos de forma individual e manual.

A Figura 15.18 mostra a máquina manual utilizada anteriormente e a pistola automática utilizada após a automação do processo.

Figura 15.18 - Máquina de solda manual e pistola automática com alimentação de pinos



Fonte: Autor (2021).

Os fatores que contribuíram para o aumento de qualidade, foram a inserção de parâmetros de solda, regulagem de alturas, velocidades de estampagem e velocidade de penetração e aplicação dos pinos durante a realização da soldagem. Condições essas que permitiram um aumento da confiabilidade do processo automatizado, diminuindo o índice de refugos em torno de 90% em relação aos índices anteriores, gerando um retorno financeiro ainda maior, devido ao aumento da qualidade dos produtos.

A Tabela 15.6 ilustra uma comparação entre os índices de refugos antes e após a automação das máquinas.

Tabela 15.6 - Índice de refugos versus produção mensal antes e pós automação

	Período	Produção	Defeitos	Taxa de refugos	Média de produção	Média de refugos
Período 1 (antes da automação)	Janeiro	24.950	980	3,93%	22.421,4	3,9%
	Fevereiro	14.000	525	3,75%		
	Março	23.000	786	3,42%		
	Abril	24.100	789	3,27%		
	Maiο	23.000	1.093	4,75%		
	Junho	23.900	974	4,08%		
Período 2 (após a automação)	Agosto	24.000	161	0,67%	23.525	0,35%
	Setembro	23.000	57	0,25%		
	Outubro	24.100	45	0,19%		
	Novembro	23.000	66	0,29%		

Fonte: Autor (2021).

Com o aumento do índice de qualidade, houve aumento também no OEE do processo, pois como o indicador de qualidade aumentou significativamente, observou-se também a melhora no indicador global de desempenho.

Para fins de cálculo nesse estudo de caso, foi levado em consideração a produção entre agosto e novembro de 2020, mais a média dos três meses seguintes.

Para fins matemáticos usou-se o valor médio de 23.525 peças como demonstrado na Tabela 15.4, pois o período de amostragens encerrou-se em novembro devido às férias coletivas dispostas aos funcionários, no mês de dezembro.

Para obter o cálculo do OEE, primeiramente foram calculados os índices necessários para a obtenção do indicador.

O índice de disponibilidade (ID), levou em consideração a quantidade de horas produzidas durante os meses de agosto e novembro de 2020, mais a média da produção desses meses, durante mais três meses, ou seja, foram calculados 7 meses como base.

$$ID = \frac{(183 - 6,98)}{183} = 99,6\%$$

Os valores são referentes ao total de horas utilizadas para a produção durante o período analisado, menos a quantidade de horas em que houve peças com defeitos.

O índice de qualidade (IQ) foi recalculado para obtenção de novos índices, que servirão de parâmetros para validação do projeto e para futuros trabalhos no mesmo sentido. Da mesma forma que o índice anterior, os valores utilizados consideram os valores médios da produção no período de 7 meses.

$$IQ = \frac{(164.675 - 576)}{164.675} = 99\%$$

Os valores no cálculo acima referem-se ao total de peças produzidas no período de agosto de 2020, em que houve o início da automação, e o mês de novembro de 2020. Para fim de cálculos matemáticos, foram consideradas as médias de produção e refugos nos três meses seguintes.

O índice de performance (IP), leva em consideração o tempo utilizado pelo processo automatizado, ou seja, o processo de prensagem e soldagem a ponto unificados.

$$IP = \frac{(164099)}{(164675)} * 100\% = 99,65\%$$

Com os índices anteriores, foi possível analisar a evolução do indicador OEE, que demonstra a eficiência global de desempenho do processo, após a realização do processo de automação.

$$OEE = 99,6 \times 99 \times 99,65 = 98,25\%$$

A comparação dos indicadores de desempenho, KPIs, são fundamentais para a avaliação e controle dos processos, pois avaliam as perdas, a qualidade e a produtividade de um determinado produto ou equipamento.

De certa forma, se pode tratar os resultados dos KPIs, para eliminar paradas desnecessárias, e ou corrigir falhas que apareçam de forma sistemática nos processos. Isso traz assertividade aos processos, seja por meio de controle em si como por mudança, que é o caso desse trabalho.

A Tabela 15.7 demonstra um comparativo dos resultados dos KPIs, antes e após a automação dos equipamentos.

Tabela 15.7 - Indicadores de Desempenho-KPIs

Processo Individual (Solda manual)		Processo Estampagem e Soldagem a Ponto Unificados	
Índice de Qualidade	96%	Índice de Qualidade	99%
Índice de Disponibilidade	93%	Índice de Disponibilidade	99,6%
Índice de Performance	96%	Índice de Performance	99,65%
O.E.E	85,7%	O.E.E	98,3%

Fonte: Autor (2021).

A tabela anterior demonstra a eficácia da automação do processo, pois houve melhoria considerável nos indicadores individuais, bem como no OEE, que mede a Eficiência Global do processo analisado. O OEE aumentou 12,5% em relação aos índices anteriores à automação. A precisão do processo de solda a ponto automática inserida no processo de estampagem do produto, contribuiu para o aumento dos indicadores, pois houve menos refugos e, por consequência, os equipamentos passaram a produzir por mais tempo peças boas, nas condições de qualidade desejadas pelo cliente.

Considerando os valores a época do produto vendido ao cliente, que era de R\$ 5,80, o retorno financeiro referente aos valores investidos no projeto tiveram o retorno do investimento (*Payback*) em um pouco mais de um mês, pois o valor investido foi de R\$ 15.082,00.

Mesmo a carga máquina aumentando, o rendimento financeiro aumentou devido à redução dos refugos e a eliminação de atividades externas a prensa, movimentações e estoques, podendo deslocar os operadores para outras atividades da empresa. Para fins de

cálculos foi calculado o valor de hora/máquina em torno de R\$ 350,00, e o salário médio dos operadores como sendo R\$ 1.600,00, não levando em consideração os encargos trabalhistas dispostos na CLT.

A Tabela 15.8 demonstra os valores obtidos através das reduções de operadores e da redução do número de refugos.

Tabela 15.8 - Comparativo financeiro do projeto

Processo Antigo Individual			Processo Novo Automatizado		
Período de Janeiro a julho			Período de agosto a novembro		
	Quantidade média	Saldo		Quantidade média	Saldo
Peças produzidas	22.421	R\$ 130.041,80	Peças produzidas	23.525	R\$ 136.445,00
Peças refugadas	876	R\$ 5.080,80	Peças refugadas	83	R\$ 481,40
Operadores	4	R\$ 6.400,00	Operadores	2	R\$ 3.200,00
Carga máquina mensal	20	R\$ 7.000,00	Carga máquina mensal	27	R\$ 9.450,00
Saldo total		R\$ 111.561,00	Saldo total		R\$ 123.313,60
Comparativo Antes e Depois					R\$ 11.752,60

Fonte: Autor (2021).

O resultado da automação do processo manteve-se bom, mesmo com o tempo de carga máquina aumentando, pois é necessário que a pistola mantenha pressionado o pino, por um determinado tempo, para haver a solidificação da região soldada.

A tabela apresentada demonstra a comparação dos períodos antes e após a automação do processo, em que houve um aumento na média de produção de peças, redução do número de funcionários envolvidos no processo e aumento dos indicadores de produção.

Por fim, e o mais importante, para a avaliação dos resultados da automação, a redução de peças refugadas, que poderiam gerar prejuízos financeiros e comerciais gerando reclamações dos clientes, por peças fora das especificações de qualidade e segurança.

O valor de aumento de lucro em relação ao período anterior à automação, ocorreu um aumento de R\$ 11.752,60 mensais, resultando uma média de R\$ 140.000,00 anuais, mostrando a eficácia da automação nos processos de estampagem e soldagem a ponto, que servirão como amostragens e para embasamentos em automações futuras, em novos processos.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A hipótese de automatizar o processo de estampagem de um produto, que faz parte de um conjunto de carrocerias automotivas, com componentes soldados, mostrou-se viável, tanto financeiramente, quanto usualmente. Para isso, foram estudados os indicadores dos processos individualizados que estavam causando um prejuízo financeiros e de qualidade para a empresa.

O estudo das métricas individualizadas dos processos de estampagem e soldagem a ponto possibilitaram a visualização dos pontos fracos do processo. E a análise de possíveis soluções para a falta de qualidade do processo de soldagem a ponto, especificamente, pois a dependência de experiências pessoais sobre a soldagem com a pistola manual, nem sempre traziam resultados significativos, gerando refugos durante a produção.

Após as análises das perdas do processo, notou-se a necessidade de atuar mais especificamente na etapa de soldagem, pois a produtividade e a qualidade eram muito baixas em relação a etapa de estampagem. Porém, com o auxílio da logística reversa citada por Cabral, Silva e Del Pino (2018), foi possível reutilizar equipamentos de soldagem a ponto com alimentação automática de parafusos, que já havia disponíveis na empresa, utilizados em processos anteriores.

Dessa forma, a prospecção de investimentos e recursos para a automação foram menos invasivas aos cofres da organização, ou seja, foi necessário menos recursos para a aquisição de máquinas, sendo necessário somente recursos para a usinagem dos componentes, para a adaptação da pistola na ferramenta de estampagem.

Com a instalação da pistola de solda diretamente na ferramenta de estampo, aumentaram significativamente os índices de qualidade e produtividade do processo de fabricação do conjunto soldado, devido ao aumento da confiabilidade adquirida através da inserção de procedimentos e trabalho padronizado, em que se seguem parâmetros de produção e regulagens.

Houve de fato, um aumento de utilização de carga máquina da prensa. Porém, pelo fato de a prensa ter o indicador de disponibilidade acima da média, não afetou a produção dos demais itens estampados. O que fez com que o objetivo final do projeto fosse alcançado, aumentando a qualidade e a produtividade homem/hora do produto, resultando na otimização do maquinário e de mão-de-obra.

O presente trabalho possibilitou observar os requisitos e parâmetros necessários para se determinar o quão viável é uma automação de processos já existentes. O conceito de automatizar por automatizar pode ser perigoso para as organizações. Nem sempre o investimento terá um retorno nos indicadores de desempenho ou retorno financeiro para algum determinado processo.

O que de fato ocorreu, foi que no processo de estampagem e soldagem a ponto, objeto desse estudo de caso, teve aumentos significativos de qualidade, produtividade homem/hora, redução do *lead time* do conjunto, redução do tempo de espera entre uma etapa e outra do processo, redução de estoque interno entre as operações, redução do *takt time*, redução do número de movimentações das embalagens durante os processos internos da empresa e redução de superprodução dos produtos, para suprir as peças defeituosas.

Uma oportunidade de melhoria observada durante a aplicação do método foi a instalação de um sistema de sopro de ar, controlado via IHM, para realizar a limpeza da área de solda (pistola e base do cabo terra), evitando que resíduos de solda prejudiquem a qualidade da peça estampada.

O presente estudo de caso da automação do processo, servirá como embasamento para projetos futuros em automações, que se façam necessárias nos diversos processos produtivos das indústrias, principalmente as automotivas. Pois possuem processos muito dinâmicos, que mudam ou sofrem alterações constantes, conforme a demanda do mercado.

Analisando as perdas dos processos de acordo com o sistema *lean manufacturing*, pode-se ter os parâmetros para agir de forma assertiva e planejada para eliminar ou reduzir as perdas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AZEVEDO, Pérecles Costa. **Estudo da geração de ruído em uma prensa mecânica excêntrica de 900 toneladas**. 2003. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003. Disponível em: <http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/85464>. Acesso em: 02 set. 2021.

CABRAL, Alex Mendes; SILVA, Raufe Cruz Da; DEL PINO, G. **Manipulador automático de entrada, troca simultânea e saída nos estágios de rençagem**. p. 1–15, 2018.

CARDOZA, E.; CARPINETTI, L. C. R. Indicadores de desempenho para o sistema de produção enxuto. **Revista Produção online**, v. 5, n. 2, 2005.

CHIAVERINI, Vicente. **Tecnologia Mecânica**: processos de fabricação e tratamento. São Paulo: McGraw-Hill Ltda, 1986. 1 v.

EQUIPE TOTVS. **Quais são os principais indicadores de produção industrial e como acompanhá-los?** Disponível em:
<https://www.totvs.com/blog/gestaoindustrial/principais-indicadores-de-producao-industrial-e-como-acompanha-los/>. Acesso em: 27 mar. 2021.

GOMES, L. DE C.; CORRÊA, R. G. DE F. **Utilização do Overall Equipment Effectiveness (OEE) em células de manufatura considerando o takt time**. Gepros: Gestão da Produção, Operações e Sistemas, v. 13, n. 3, p. 276, 2018. Disponível em:
<https://www.gepros.feb.unesp.br/index.php/gepros/article/view/1960>. Acesso em: 30 ago. 2021.

KOTLER, P. **Administração de Marketing**. 10. ed. São Paulo: Bookman, 2019.

KRAJEWSKI, LEE J.; RITZMAN, LARRY P.; MALHOTRA, M. **Administração de Produção e Operações**. 8. ed. Disponível em:
<https://plataforma.bvirtual.com.br/Acervo/Publicacao/683>. Acesso em: 02 de abr. de 2021.

KRELLING, Anael. **Estampagem**. Disponível em:
<http://joinville.ifsc.edu.br/~anael.krelling/Tecnologia%20em%20Mecatr%C3%B4nica/PFB64/7%20-%20Estampagem.pdf>. Acesso em: 02 set. 2021.

LEWANDOSKI, C. F. **Cristiano Fernando Lewandoski**. [s.l.] Universidade Estadual do Oeste do Paraná-(UNIOESTE), 2019.

MARIANO, E. Conceitos básicos de análise de eficiência produtiva. **Simpósio de Engenharia de Produção-USP**, 2007.

MARTINS, P. F.; BONFIM. **Automação de uma prensa hidráulica para prensar bucha de deslizamento em suporte da direção de caminhão**. Monografia (especialização). Especialização em Automação Industrial. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/29889>
Acesso em: 07 dez. 2023.

MATHES, Adriano dos Santos. **Estudo de caso na automação de sistema de conjunto de estampagem e soldagem**. 2021. 89 f. Monografia (Graduação) - Curso de Tecnólogo em Automação Industrial, Universidade Estadual do Rio Grande do Sul - Uergs, Porto Alegre, 2021. Disponível em:

<https://repositorio.uergs.edu.br/xmlui/handle/123456789/2043>. Acesso em: 30 jun. 2023.

MENDES, M. **Período de transição dos métodos manuais para a implantação das máquinas**. Disponível em:

<https://www.educamaisbrasil.com.br/enem/historia/primeira-revolucao-industrial>. Acesso em: 2 abr. 2021.

MORAES, Izaque de. **O que é e como calcular o Payback?** 2016. Disponível em:

<https://www.contabeis.com.br/noticias/30249/o-que-e-e-como-calculer-o-payback/>. Acesso em: 1 ago. 2021.

NAKAJIMA, S. **TPM Development Program: Implementing Total Productive Maintenance**. Productivity Press. Portland: OR, 1989.

PANSONATO, R. C. **Lean Manufacturing**. 1. ed. Curitiba: Contentus, 2020.

RODRIGUES, A. F.; FERRARIN, F. V.; OLESKO, P. G. M. **Implementação de indicador de desempenho oee em máquina de abastecimento de ar-condicionado automotivo**. 2013.

RUIZ, Douglas Criado. **Contribuição ao desenvolvimento de processos de montagem e soldagem de carrocerias automotivas**. 2005. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Automotiva, Escola Politécnica da Universidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005. Disponível em:

https://www.livrosgratis.com.br/ler-livro-online-18887/contribuicao-aodesenvolvimento-de-processos-de-montagem-e-soldagem-de-carroceriasautomotivas#google_vignette. Acesso em: 12 set. 2021.

SALES, R. **O que é automação industrial? Qual o seu impacto nas indústrias?**

Disponível em: <https://blog.acoplastbrasil.com.br/automacao-industrial/>. Acesso em: 10 abr. 2021.

SCHWAB, Klaus. **A quarta revolução industrial**. São Paulo: Edipro, 2016.

VACCARO, G. L. R. **Modelagem e análise da confiabilidade de sistemas**. 1997. 192 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 1997. Disponível em:

<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/128105/000199240.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 29 ago. 2021.

16

CASA 4.0: ESTUDO DE FUNCIONALIDADES QUE UMA AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL INTERATIVA PROPORCIONA

Guilherme Maciel Guedes

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo sintetiza o trabalho de conclusão de curso de Guedes (2021), ao implementar uma prova de conceito, investigando as funcionalidades que a indústria 4.0 se aplicam em uma residência.

Com o grande avanço da internet e conseqüentemente a inclusão digital, hábitos do cotidiano da população estão cada vez mais voltadas para as áreas da tecnologia, criando necessidades específicas ao conforto, sustentabilidade e gerenciamento de recursos para o setor habitacional. O que mostra que a domótica se faz cada vez mais necessária no dia a dia da sociedade. Como por exemplo, os edifícios inteligentes, conceitos anteriormente teóricos, que agora fazem parte do diferencial na hora de escolher a compra de um imóvel (Domingues; Pina Filho, 2019).

Domótica é a junção de tecnologias existentes aplicadas a gestão de recursos residenciais. A palavra domótica vem do francês *domotique*, que surgiu na década de 1980 na França, onde as primeiras experiências neste âmbito foram realizadas. O termo deriva das palavras *Domus* (casa), em latim, e *Robota* (controle automatizado de algo), da língua tcheca (Barros, 2010).

Dentre os principais fatores que definem a automação residencial, estão a integração de diversos sistemas em conjunto, com a capacidade de executar funções. Destacando ainda as seguintes: iluminação, alarmes, sistemas multimídias e de comunicações. Nos dias de hoje, a implementação é direcionada para a questão de sustentabilidade, em função dos recursos naturais estarem mais escassos. O Brasil demonstra uma rápida absorção das novas tecnologias na vida diária dos usuários (Muratori; Bó, 2011).

Este trabalho tem como objetivo demonstrar de forma prática soluções na área da domótica, tendo em consideração o baixo custo de implementação e a customização de funções, de forma que o usuário possa definir suas características e agregar futuras modificações, de acordo com a sua necessidade.

Com a crescente demanda por automação residencial, as empresas têm apresentado sistemas com diversas funcionalidades, as chamadas soluções completas para as necessidades dos clientes. Com o custo elevado, a recepção pelos consumidores se torna baixa (José; Giacomelli; Luis; Fontes, 2012).

Eventualmente, o cliente final não tem interesse em possuir todas essas funções implementadas, mas sim aplicações relacionadas às suas necessidades principais e, ainda, de acordo com a sua realidade financeira.

Segundo Silva e Oliveira (2019) a área mais desenvolvida neste segmento é o da automação predial, mas que acaba por tornar uma parte dos equipamentos inacessíveis aos lares brasileiros.

Como descrito por José, Giacomelli, Luis e Fontes (2012), apesar de ser uma ferramenta muito importante para a economia residencial, o alto custo e a falta de mão de obra especializada dificultam a popularização da domótica. Conforme a evolução tecnológica e o controle de vários equipamentos, refletem na melhoria do desperdício no uso dos recursos residenciais. Há estudos que mostram que a automação pode reduzir em até 40% o consumo elétrico residencial.

Diante deste cenário, de acordo com Santos e Lara Junior (2019), a evolução da indústria eletrônica, bem como a redução de custos de algumas tecnologias, está tornando a automação residencial mais acessível. Atualmente se pode encontrar diversos sites ofertando microcontroladores, módulos e componentes para a implementação da domótica de maneira intuitiva e confiável.

A hipótese para solução do problema é a utilização de sistemas microcontrolado para o compartilhamento de dados em nuvem, permitindo selecionar as funcionalidades de uma automação residencial, que serão disponibilizadas no tempo e condição que o usuário necessita.

Sombrio (2021) descreve que o microcontrolador é um dispositivo que contém uma unidade de processamento, integrado a um circuito de memória e periféricos. Possibilita a leitura e interpretação de sinais analógicos e digitais e, dependendo do modelo, diferentes protocolos de comunicação.

Serviço de armazenamento em nuvem, tais como Dropbox, Google Drive, One Drive e iCloud, se tornaram extremamente populares nos últimos dias, oferecendo uma maneira confiável de armazenar dados de usuários domésticos ou corporativos, podendo ser utilizados como *backup* ou compartilhamento de arquivos em tempo real.

Resultado da sincronização automática de dados em tempo real, entre usuários diferentes e o relatório de projeção da Cisco para a computação em nuvem, prevê 1,3 ZB de dados armazenados na nuvem em 2022, segundo Souza e Gonçalves (2020).

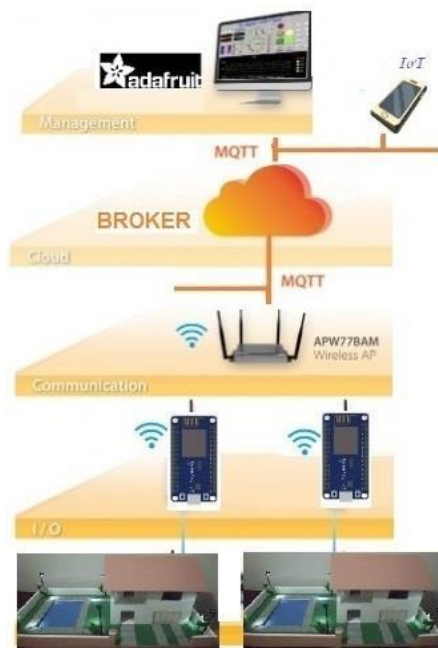
O objetivo deste trabalho é analisar as funcionalidades de aplicações domésticas customizadas, através da criação de uma maquete funcional, contendo um microcontrolador conectado à rede internet, que se comunica a um *broker* em nuvem utilizando o protocolo MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*). O usuário terá acesso aos dados de sua residência e poderá interagir com eles, de forma remota.

São propostos os seguintes objetivos específicos para desmembrar o objetivo geral, de forma que fique mais clara a análise das funcionalidades acima citadas, sendo eles:

- a) estudo das aplicações da domótica;
- b) seleção das funcionalidades que serão implementadas;
- c) definição do método de interação doméstica para estudo;
- d) implementação do protótipo funcional casa 4.0;
- e) implementar a interação do protótipo com o *broker* em nuvem e o aplicativo supervisorio;
- f) analisar os benefícios de cada funcionalidade;
- g) publicar os resultados.

A Figura 16.1 apresenta as camadas tecnológicas do protótipo funcional proposto.

Figura 16.1 – Camadas tecnológicas do protótipo funcional proposto



Fonte: Autor (2021).

De acordo com Nunes (2002), a domótica é uma área de grande interesse nos dias de hoje, sendo ligada ao controle e automação de habitações, agregando maior conforto e segurança na vida das pessoas, possibilitando controlar e monitorar diversos equipamentos, que podem ou não trabalhar em conjunto. Seus tipos de aplicação vão desde detecção de incêndio até ligar ou desligar o ar-condicionado, em um horário definido pelo usuário, ou o acionamento em tempo real estando distante da residência.

Quando se fala em domótica, é considerado a implementação de qualquer integração de sistemas no âmbito residencial, através da utilização de atuadores e sensores, sendo bastante requisitada em áreas que existam pessoas com necessidades especiais e pessoas da terceira idade, sendo considerado um facilitador de atividades.

Inicialmente reconhecidos como símbolo de status e modernidade, em princípio por seu alto grau de complexidade, a conveniência oferecida pela domótica é um dos principais fatores que captam o interesse do usuário (Cezar, 2020).

Ainda segundo Cezar (2020), há um consenso quando se fala em domótica como sendo a busca para a comodidade, em que um dos principais elementos em alta é a acessibilidade, através da busca pela qualidade de vida. A melhora na qualidade de vida aliada com o avanço da tecnologia, reflete no aumento da demanda e consequentemente uma fatia maior da economia no mercado de tecnologia.

A Figura 16.2 apresenta um exemplo de representação da domótica.

Figura 16.2 – Exemplo de representação da domótica



Fonte: Sua Obra (2021).

Como mostrado em Vianna (2018), a automação residencial pode ser dividida em 3 classes de integração ou em três graus de automação de uma edificação, sendo elas:

- a) classe I, que consiste em sistemas autônomos operando de forma independente a partir de funções pré-determinadas;
- b) classe II, que são sistemas integrados, constituindo dois ou mais sistemas autônomos trabalhando em conjunto, sem a necessidade de uma central;
- c) classe III, chamado de sistema complexo, que controla e gerencia a residência através de um computador ou *smartphone*, que possua acesso à internet.

Este último, por conter na grande maioria das vezes uma complexidade maior de funcionamento, necessita que a casa esteja projetada ou ofereça o mínimo possível de estrutura para implementação do sistema.

Para que os dados de ambiente de uma residência sejam monitorados, faz-se necessário o sensoriamento. São os sensores aplicados a domótica.

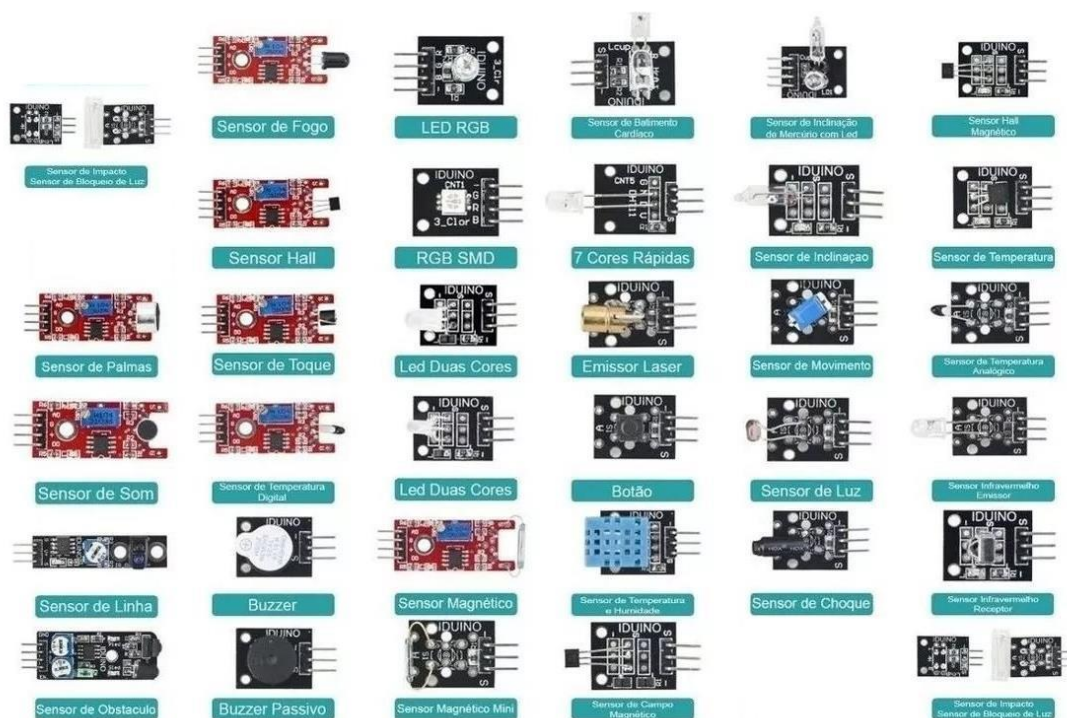
Os dispositivos chamados de sensores, são classificados como dispositivos de entrada, pois coletam a informação e enviam para o controlador. Nos controladores os mais diversos tipos de variáveis podem ser coletados como: pressão, temperatura, níveis de gases e entre outros, e o local de utilização é definido de acordo com a necessidade do usuário. O sensoriamento pode ser realizado em conjunto com outros sistemas, como por exemplo um sistema de vigilância, ou de forma individual, para coleta de informações para análise e tomadas de decisão futura, com base nestes dados (Ribeiro, 2018).

Como descrito em Andrade (2013), a escolha do tipo de sensor ou a categoria de uso, se deve a sua peculiaridade, pois existem diversos fabricantes para um mesmo tipo

de sensor, em que as características de cada um se diferem de acordo com o método de fabricação, o material usado e entre outros.

A Figura 16.3 apresenta uma gama de sensores que podem ser obtidos no mercado voltado a automação residencial.

Figura 16.3 – Exemplo de kits com sensores a venda no mercado atual



Fonte: Adaptado de ARDUO ELETRO (2021).

E, assim como os sensores são importantes na domótica, os atuadores se fazem tão importantes quanto, pois permite uma atuação remota do usuário sobre a residência, ligando ou desligando equipamentos, entre outras funções.

Dispositivos mecânicos comandados por um sinal elétrico são chamados de atuadores, que realizam ações no ambiente de acordo com instrução previamente configurada ou pelo acionamento pelo usuário no sistema em funcionamento. Existem diversos tipos de atuadores. Os mais utilizados são: modulo relé, termostatos, fechaduras eletrônicas, entre outros. Suas características, modo de configuração e instalação, seguem normas, que acompanham o dispositivo quando ele é adquirido, em que na grande parte das vezes sendo dispositivos de fácil instalação (Ginjo, 2017).

A Figura 16.4 mostra um módulo relé para acionamento de dispositivos, que possam ser controlados, de acordo com a característica do sistema implantado na residência.

Figura 16.4 - Exemplos de atuador na domótica



Fonte: MSS ELETRONICA (2021).

Relés são componentes eletromecânicos, que podem acionar cargas das mais variadas correntes, de acordo com seu circuito. Este módulo em questão, permite a partir de um sinal enviado do microcontrolador, o acionamento de cargas em corrente alternada (CA) e em corrente contínua (CC), ambas até 10A. Sendo comum seu uso na domótica, controlando lâmpadas, ventiladores, entre outros (Oliveira, 2021).

A Figura 16.5 ilustra o módulo relé com 4 canais, suas entradas e saídas e as características dos relés que estão na placa.

Figura 16.5 – Modulo relé com 4 canais

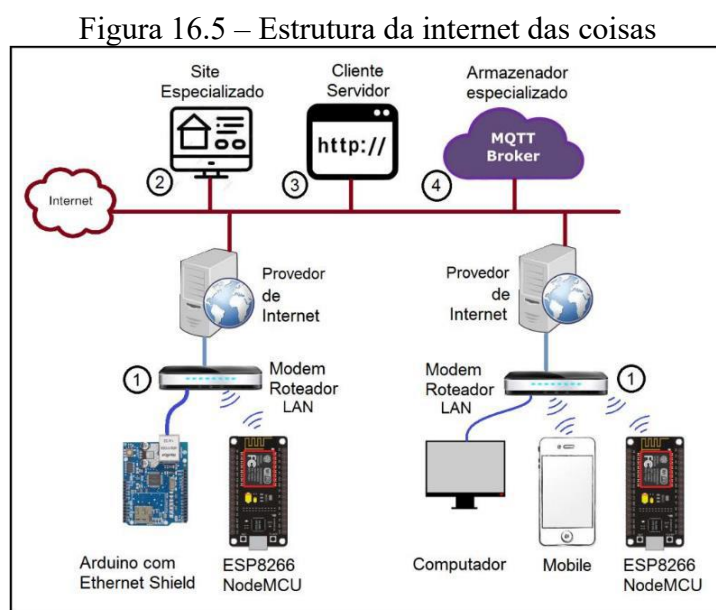


Fonte: Oliveira (2021).

De acordo com Peixoto (2021), com a chegada da 4ª revolução industrial, surgiu a necessidade de que os dispositivos não mais interagissem somente entre si, mas entre máquinas, produtos e pessoas, através do compartilhamento de informações, interações e troca de dados em tempo real.

Internet das coisas ou *Internet Of Things* (IoT), representa a conexão dos objetos eletrônicos que usamos no dia a dia com a internet. De modo que seja possível fazer o controle remotamente do dispositivo e que também se tornem um provedor de dados, capazes de coletar e processar informações, com relação ao local e a rede em que estão conectados. Existe uma alta quantidade de oportunidades a serem exploradas (Oliveira, 2017).

A Figura 16.6 apresenta a estrutura da internet das coisas. Elencando os principais itens que fazem parte deste sistema, sendo eles: uma rede LAN para, que o dispositivo se conecte a internet (1); um site especializado para esta conexão (2); um site atuando como cliente/servidor, em que transfere dados entre plataformas, que contenham protocolos de comunicação diferentes (3) e poderá acessar um serviço específico, que armazena os dados transmitidos (4) (Peixoto, 2021).



Fonte: Peixoto (2021).

Se pode então considerar que o conceito de “coisa” no nome desta tecnologia, é em função da interação desta “coisa” com a internet, gerando um processamento, por sua vez um grande volume de dados, em que seu crescimento é totalmente proporcional ao aumento na segurança e na criação de protocolos de rede, desenvolvidos para esta tecnologia (Fachini; Mesquita; Oliveira; França, 2017).

Como o conceito de internet das coisas é muito amplo, segue a seguir exemplos de situações no dia a dia, em que este conceito é aplicado.

No setor industrial, onde existem máquinas monitoradas por sensores, em uma situação de erro, acionam a chamada de um técnico para efetuar a correta manutenção, agilizando o processo e aumentando a vida útil do equipamento.

Já em aplicações para idades inteligentes, onde este conceito é aplicado através da instalação de diversos sensores espalhados pela cidade, sendo possível monitorar áreas que contém um alto índice de alagamentos, como exemplo, em que antes de começar a chover, equipes são deslocadas previamente para lidar com estas situações (Fachini; Mesquita; Oliveira; França, 2017).

E uma forma de um equipamento ou máquina ter acesso à internet é através de um dispositivo IoT, que consiste em um microcontrolador com um meio físico adequado ao acesso a rede LAN e com um algoritmo, que permita o acesso ao protocolo TCP/IP. Um módulo microcontrolador que pode funcionar como dispositivo de IoT é o ESP8266 NodeMCU.

O módulo ESP8266 NodeMCU é uma placa de desenvolvimento, criada para servir com um dispositivo programável, permitindo sua programação ser realizada na linguagem LUA ou através da interface de desenvolvimento do Arduino (IDE-Arduino). Contém entradas e saídas, além de um dispositivo *wifi* incorporado, que permite o acesso à internet, categorizando-o a um dispositivo para Internet das Coisas – IoT (Peixoto, 2021).

A Figura 16.7 apresenta a placa de desenvolvimento ESP8266 NodeMCU, com seus componentes periféricos.



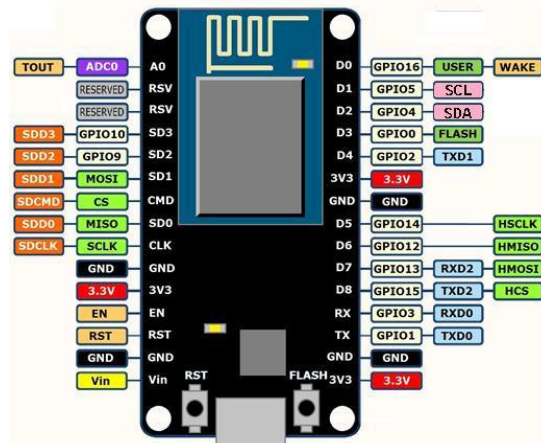
Fonte: Peixoto (2021).

Como visto em Peixoto (2021), consistindo em um módulo no formato de uma placa de circuito impresso, o módulo ESP8266 NodeMCU contém embarcado um conversor serial-USB e o módulo ESP12E, assim passando a ter as características do

módulo ESP12E, podendo ser alimentado pela conexão USB ou pelo pino “Vin”, ambos com uma tensão de 5V, pois contém um regulador de tensão interno.

A Figura 16.8 apresenta os pinos de acesso ao módulo ESP8266 NodeMCU e sua disposição na placa.

Figura 16.8 – *Layout* dos pinos do módulo ESP8266 NodeMCU



Fonte: Peixoto (2021).

Ter o acesso à internet por parte de um equipamento ou máquina é um passo importante. Mas ter o acesso sem ter como se comunicar ou com quem se comunicar torna o propósito vago. Carece então definir um protocolo de comunicação adequado para aplicação que se propõe. Em uma aplicação *Publish/Subscriber* (publicador e assinante) é comum o uso do protocolo MQTT.

De acordo com Peixoto (2021), o protocolo MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*), é um protocolo entre máquinas, que funciona sobre o protocolo TCP-IP, tendo seu foco em Internet das coisas – IoT. Em função do tamanho dos dispositivos IoT e sua limitação de capacidade de processamento e bateria, são utilizados protocolos de comunicação leves, otimizando o uso da rede e fornecendo mais confiabilidade de informação.

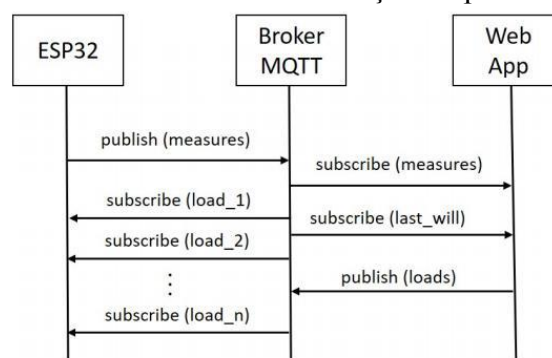
O protocolo MQTT está entre os mais utilizados para aplicações IoT. O protocolo foi baseado na arquitetura *publisher/subscribe*, sendo composto basicamente pelos dispositivos conectados e pelo *broker*, em que cada dispositivo pode publicar ou subscrever um determinado tópico. Quando um dispositivo publica uma determinada informação, fica a cargo do *broker*, transmiti-la aos dispositivos subscritos naquele tópico (Costa *et al.*, 2021).

Como mostrado em Grehs (2016), funcionando através do protocolo MQTT está o *broker*, que é o intermediário dentro da conexão TCP-IP entre os dispositivos (*publishers*) e os interessados em obter as informações (*subscribers*). Executando a função de servidor da conexão TCP-IP, sendo o responsável por manter a conexão ativa.

Neste trabalho foi utilizado a plataforma Adafruit IO, que disponibiliza o servidor *broker* e proporciona a comunicação através do protocolo MQTT. O servidor *broker* também pode ser implementado localmente, através do uso de um computador que contém conexão à internet e ficará responsável por prover a conexão e comunicação em tempo integral.

A Figura 16.9 exemplifica a estrutura de comunicação do protocolo MQTT entre um dispositivo ESP32 e uma aplicação na rede de internet, contendo o servidor *broker*, provendo a correta interface de troca de dados entre os dispositivos, dentro desta estrutura.

Figura 16.9 – Estrutura de comunicação no protocolo MQTT



Fonte: Costa *et al.* (2021).

2 METODOLOGIA

Este projeto se propõe a apresentar um estudo experimental de um sistema de automação residencial interativa, através da instalação de sensores e atuadores em uma residência, oferecendo também um monitoramento das condições ambientais, de forma a proporcionar uma comodidade maior na execução de tarefas diárias na residência. É avaliado de forma qualitativa, a partir de necessidades básicas do usuário final, tais como monitoramento de temperatura e umidade em determinados cômodos da casa e o acionamento de dispositivos eletrônicos existentes no local, implementando as funcionalidades da domótica.

Por ser uma pesquisa exploratória, verificou-se metodologias e ideias aplicadas na domótica, que visam facilitar a vida do usuário com relação a processos existentes, mas implementado de forma manual e a itens que antes não eram de fato observados, mas demonstrados como itens indispensáveis para a implementação.

Neste processo, irá ser observado a situação anterior e referentes a funcionalidades implementadas através da domótica.

A pesquisa foi implementada com cunho qualitativo, experimental e descritivo, observando as melhorias nos processos existentes na residência, que antes era feito de forma manual, tanto referente ao aumento da qualidade de vida, como pelo conforto que esta implementação agrega, tendo um estudo de caso através da implementação da domótica em uma residência não automatizada. Resultado da instalação de sensores e atuadores em conjunto com um microcontrolador, que irá gerenciar estes itens, provendo a interface entre o usuário e o sistema criado. Culminando na criação de uma maquete de uma residência, sendo desenvolvido um protótipo funcional deste sistema.

O estudo desenvolvido neste projeto demonstra que o método aplicado pode ser implementado em qualquer ambiente residencial, podendo inclusive ser implementado em pequenas empresas, transformando-se em um modelo de negócio, como por exemplo, a zeladoria 4.0²⁵, que se encarrega de monitorar residências, tanto no âmbito de segurança patrimonial, quando no âmbito de eficiência energética, analisando os dados e apresentando pontos de melhoria na estrutura elétrica da residência, afim de melhorar o consumo energético. Ou na isolamento térmica, determinando se o sistema de climatização está funcionando de forma satisfatória.

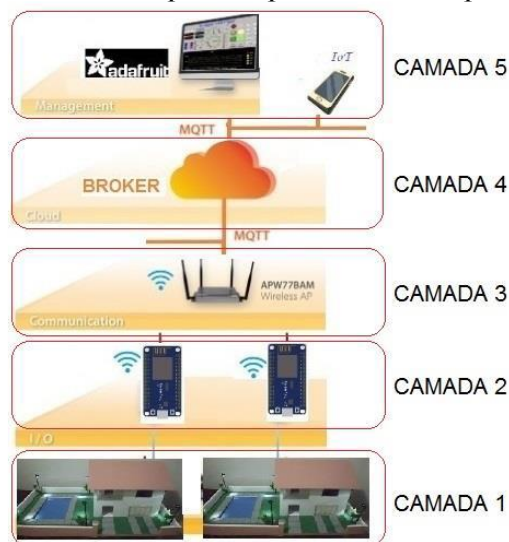
Este método também pode ser analisado de forma a construir módulos de controle residencial, com os itens mais selecionados pelo cliente, de acordo com a sua necessidade, tornando a implementação mais amigável e atrativa.

O método aplicado foi desenvolvido a partir de proposta sobre implementação da automação residencial, em que foram determinados quais componentes seriam instalados, quais os módulos e qual controlador irá ser utilizado. Criou-se uma maquete em impressão 3D, de forma a criar um protótipo funcional deste projeto. Foi possível o usuário acessar remotamente os dados e interagir com o sistema, através da implementação da IoT.

²⁵ Zeladoria 4.0: Modelo de negócio direcionado a fazer o monitoramento em tempo real dos dispositivos implementados na domótica, atuando quando necessário, com relação ao bem-estar residencial e eficiência energética, seja em um imóvel ou condomínio.

Como mostrado na seção de objetivos, é desenvolvido um sistema de camadas lógicas existentes no projeto. A Figura 16.10 apresenta estas camadas como metodologia do projeto.

Figura 16.10 – Camadas que compõe o método aplicado no projeto



Fonte: Autor (2021).

Na primeira camada, foi desenvolvido uma maquete que irá servir de protótipo para a implementação do processo. A maquete irá conter uma casa com pátio e jardim, para demonstrar a aplicabilidade do sistema. A impressora 3D utilizada no processo foi a Creality Ender 3.

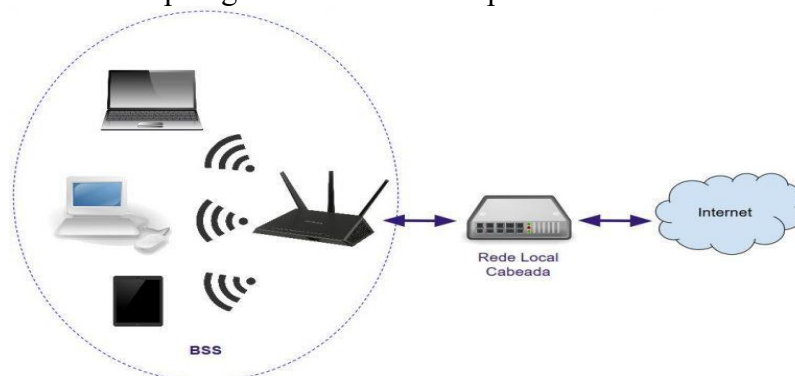
Na segunda camada são definidas quais funcionalidades o protótipo terá, tais como a medição de temperatura, umidade relativa do ar, sensor de presença e leitura de umidade do solo. Foi determinado também qual microcontrolador irá gerenciar este sistema, tendo este a característica de funcionamento direcionada para Internet das coisas (IoT), recurso este essencial para a domótica 4.0²⁶. Existem diversos microcontroladores no mercado para este fim, como o Raspberry Pi, o Arduino Uno e o módulo ESP8266 NodeMCU. Existe bastante similaridade nos seus funcionamentos, mas com algumas características existentes apenas em cada um dos modelos, sendo levada em conta na hora da escolha da placa.

²⁶ Domótica 4.0: Interação entre o usuário e a automação residencial em tempo real, através de um dispositivo conectado à internet, possibilitando o acesso ao sistema e controle dos dispositivos, remotamente.

A terceira camada se refere a prover uma conexão à rede de internet dos itens existentes na segunda camada, sendo esta conexão pré-existente, onde o protótipo irá se conectar, através de uma rede LAN pela conexão *Wifi*, e a rede WAN por conexão a fibra ótica. De modo geral qualquer dispositivo que disponibilize conexão cabeada ou *wifi* com a rede de internet, pode ser utilizado para este fim.

A Figura 16.11 demonstra a topologia referente a conexão de internet utilizada, chamada de BSS (*Basic Service Set*, Conjunto de Serviço Básico).

Figura 16.11 – Topologia de rede utilizada para conexão à rede de internet



Fonte: Reis (2018).

Na quarta camada é definido um meio de aquisição dos dados, existindo ou não a necessidade de um histórico destes, com o diferencial de serem disponibilizados em nuvem, em tempo real, através uma plataforma que executa o serviço de *broker*, enviando e recebendo informações de acordo com a configuração e necessidade do sistema. Atualmente, existem várias plataformas que disponibilizam estes serviços, como Adafruit, Mosquitto, HiveMQ, entre outras.

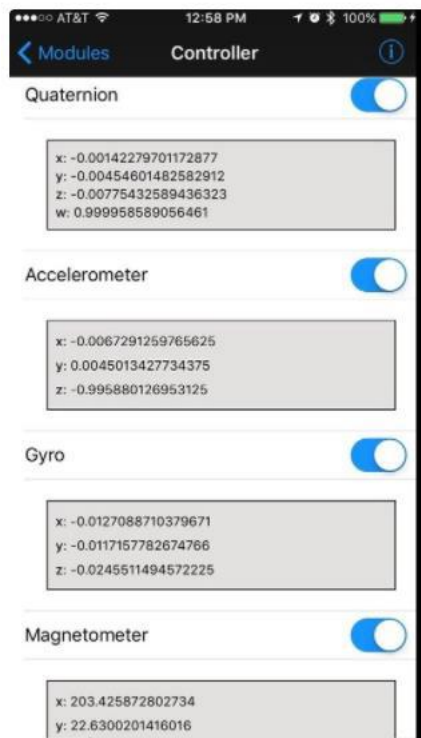
A quinta e última camada é referente a interface de interação entre o usuário e o sistema, que pode ser feita através do acesso a um aplicativo ou site, dependendo da plataforma utilizada para este fim. Através da exibição de um conjunto de informações adquiridas do sistema e dispositivos virtuais de acionamento de processos, dispostos em painéis gráficos chamados de *dashboards*. Através desta interface gráfica, o usuário tem acesso a informações dos sensores instalados e o acionamento dos atuadores. Há diversas empresas que fornecem este serviço de *dashboards*, tais como Elipse, Adafruit IO, MQTT Dash e Eclipse.

Neste projeto foi utilizado o acesso pelo computador ao AdafruitIO, mas a plataforma conta com o aplicativo mobile Bluefruit LE, disponível nas plataformas

Android e IOS. Este aplicativo permite a mesma interação e configuração para acesso aos *dashboards* visualizados no navegador.

A Figura 16.12 ilustra um exemplo da tela do aplicativo no celular, em que o usuário pode também acessar e ter acesso aos dados de sua residência.

Figura 16.12 – Visualização de um exemplo de *dashboard* pelo celular



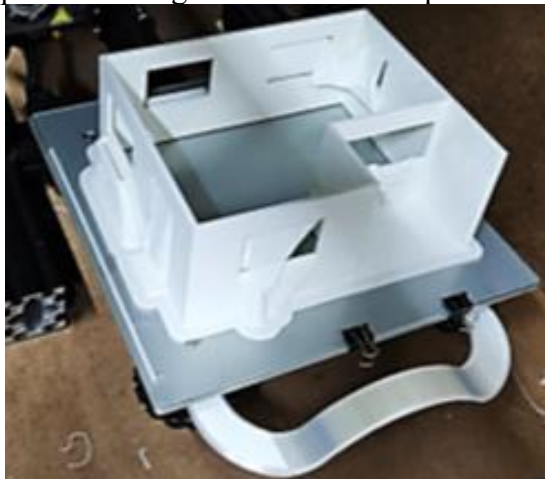
Fonte: Cunningham (2015).

3 RESULTADOS E ANÁLISE

Com a auxílio de uma impressora 3D, foi impresso uma maquete de uma residência, sendo o material usado como insumo de impressão o PLA²⁷. A estrutura desta maquete consiste em uma construção de dois andares, com dois cômodos em cada andar. A divisão dos andares foi feita com um quadrado de compensado. A impressão durou ao todo 28 horas. A Figura 16.13 demonstra parte do processo de impressão finalizado antes de ser retirado da impressora 3D.

²⁷ PLA (Ácido Poliláctico) é um termoplástico biodegradável, derivado de fontes naturais como milho e a cana-de-açúcar, fornecendo características de um plástico, mas em uma estrutura orgânica biodegradável. Apresenta bom acabamento quando aplicado em impressões 3D, onde se faz necessário sua fusão e solidificação na forma de filamentos. Fonte: <https://3dfila.com.br/pla-tudo-o-que-voce-precisa-saber-sobre-o-filamento-pla/#h-oque-o-pla>.

Figura 16.13 – Impressão do segundo andar da maquete funcional da residência

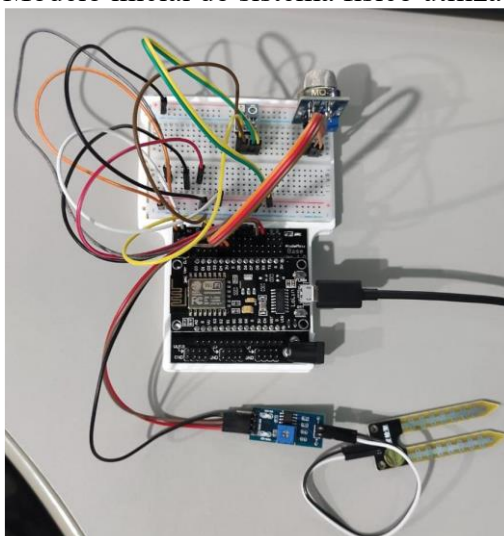


Fonte: Autor (2021).

Foram implementados 2 sensores de temperatura e umidade, modelo AHT10, um sensor de fumaça modelo MQ-2 para cozinha, um modulo relé para acionamentos da iluminação e acionamento de uma carga, simulando um eletrodoméstico. E por último, um sensor de umidade de solo, para monitorar a qualidade do solo e efetuar a irrigação, além de um fototransistor receptor e um fotodiodo transmissor, que funcionam verificando se a porta da residência está aberta, para o sistema de alarme.

Estes dispositivos foram testados primeiramente em um circuito montado em matriz de contatos. A Figura 16.14 mostra a primeira fase de testes de aquisição de dados do sistema.

Figura 16.14 – Modelo inicial do sistema físico utilizado para os testes



Fonte: Autor (2021).

O microcontrolador utilizado foi o módulo ESP8266 NodeMCU, em que as funcionalidades foram implementadas de acordo com cada tipo de dispositivo utilizado, estabelecidas conexões para a entrada e saída de dados aos sensores e atuadores. Foi realizada a configuração para a conexão à rede *wifi* e a implementação da configuração necessária para comunicação com a plataforma, que contém o *broker*, e a interface gráfica a qual o usuário tem acesso, sendo realizado através do protocolo MQTT.

A Figura 16.15 demonstra um trecho do código desenvolvido para o sistema que permite a conexão à rede de internet do microcontrolador e a comunicação com a plataforma *online*.

Figura 16.15 – Código referente a conexão à internet e a plataforma *online*

```

/***** Configurações da Rede Wi-Fi *****/

#define WLAN_SSID      "Anakin" //Nome da rede WiFi
#define WLAN_PASS      "180288161188" //Senha da rede Wifi

/***** Configurações Adafruit.io *****/

#define AIO_SERVER      "io.adafruit.com" //Servidor MQTT
#define AIO_SERVERPORT  1883 //Porta do Servidor
#define AIO_USERNAME    "Gui_Guedes" //Nome do usuário na Adafruit.IO
#define AIO_KEY         "aio_AddV281vS4d32zFntHFjBqEYtoCI" //Senha do usuário na Adafruit.IO

/***** Configurações Globais *****/

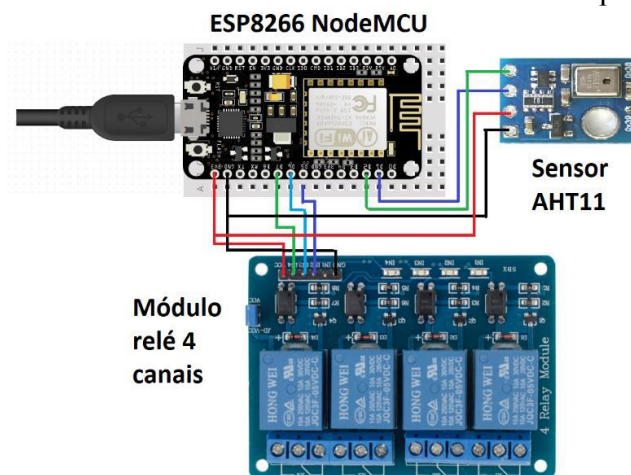
```

Fonte: Autor (2021).

Os periféricos instalados foram divididos entre dois controladores ESP8266 NodeMCU, de forma a ficar mais simples a instalação. Na ESP8266 NodeMCU de número 1 foram implementadas as seguintes funcionalidades: leitura de temperatura e umidade da casa; acionamento da iluminação da residência e do pátio; e acionamento da carga referente ao eletrodoméstico. Na ESP8266 NodeMCU de número 2 foram implementadas as seguintes funcionalidades: leitura da temperatura e umidade do pátio; leitura da umidade do solo do jardim; sensor de Alarme; e sensor de fumaça.

Na Figura 16.16 contém o diagrama elétrico da ESP8266 NodeMCU, mostrando os relés que iram atuar para a ligação das cargas e o sensor de temperatura e umidade.

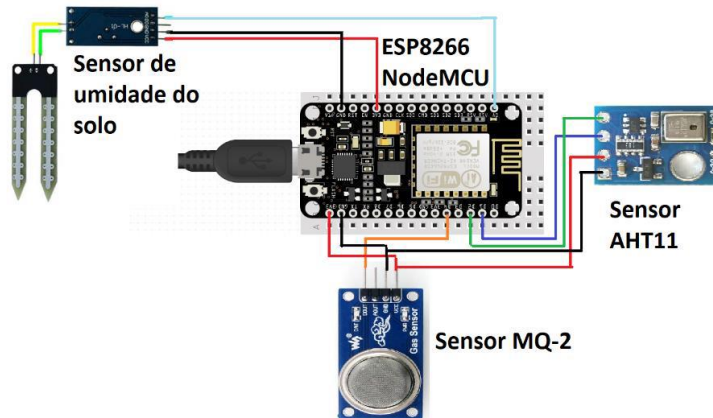
Figura 16.16 – Diagrama elétrico do controlador ESP8266 NodeMCU para acionamento das luzes e da cafeteira e sensoriamento de umidade e temperatura do pátio



Fonte: Autor (2021).

Na Figura 16.17 contém o diagrama elétrico da ESP8266 NodeMCU, contendo o restante dos sensores que foram utilizados.

Figura 16.17 – Diagrama elétrico do controlador ESP8266 NodeMCU contendo o sensor de fumaça, sensor de temperatura e umidade da casa e do solo

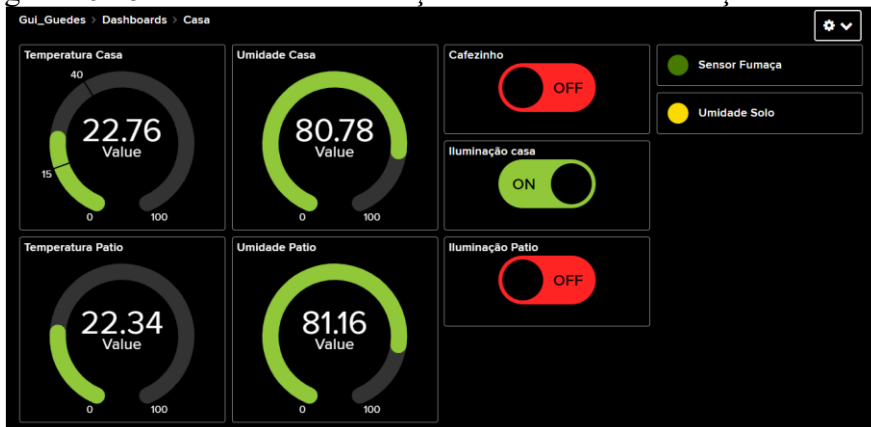


Fonte: Autor (2021).

Para o *broker* e a interface gráfica foi utilizado a plataforma AdafruitIO, que disponibiliza o serviço de aquisição e armazenamento de dados através do protocolo MQTT e sua plataforma de *dashboards*, que são painéis de controle gráficos customizáveis, em que é mostrado os valores obtidos pelos sensores presentes no sistema e os botões para definir o estado dos atuadores.

A Figura 16.18 apresenta o *dashboard online* da aplicação, em que o usuário tem acesso aos dados obtidos em tempo real e o acionamento dos itens presentes na automação.

Figura 16.18 – Painel de visualização de dados da automação residencial



Fonte: Autor (2021).

Ao final os microcontroladores e os periféricos foram integrados na maquete de forma funcional, simulando o uso diário do sistema. A Figura 16.19 mostra o protótipo funcional concluído, com o sistema de automação residencial em funcionamento.

Figura 16.19 – Protótipo funcional concluído



Fonte: Autor (2021).

Através da utilização de técnicas semelhantes a trabalhos anteriores, como o sistema de irrigação doméstico baseado em internet das coisas, do autor Grehs (2016) e o trabalho referente ao desenvolvimento de um sistema de automação residencial baseado em domótica, dos autores Silva e Oliveira, foi possível a implementação da Domótica em

um protótipo, possibilitando um avanço na forma com interagimos com o ambiente em nossa residência, podendo ser customizado de acordo com a nossa necessidade.

O Quadro 16.1 apresenta a análise comparativa entre as funcionalidades antes e depois da implementação da domótica.

Quadro 16.1 – Comparativo das funcionalidades antes e depois da implementação

Funcionalidades	Sem a domótica	Com a domótica
Acionamento do sistema de Iluminação.	Realizado de forma manual e presencial.	Realizado de forma não presencial em tempo real.
Aquisição de Temperatura e umidade.	Realizado pelo usuário através de um instrumento de medição.	Realizado de forma autônoma, com acesso aos dados em tempo real.
Aquisição Umidade do solo.	Não monitorado, mantendo uma frequência de cuidado com plantas Irregular.	Realizado de forma autônoma, com acesso aos dados em tempo real.
Acionamento de cargas (máquina de café).	Feito de forma manual e presencial pelo usuário.	Feito de forma remota, integrado com o sistema de proteção contra incêndio.
Proteção contra incêndio.	Os equipamentos da residência não eram monitorados.	Sistema de baixo custo, interligado com os sistemas de acionamento de cargas, com acesso a status em tempo real.

Fonte: Autor (2021).

A análise das diferenças mostra que todas as ações realizadas pelo usuário se tornaram mais eficientes, tendo em vista o trabalho manual realizado antes da implementação e a falta de histórico destes dados. Possibilita a análise destes dados, para tomada de ação futura.

Através do histórico de temperatura da residência é possível determinar se alguma ação deve ou não ser tomada, para melhorar a eficiência dos equipamentos, como por exemplo o ar-condicionado, para manter a correta temperatura interna. Inclusive comparando o antes e o depois desta temperatura, para que possa ser analisado se a tomada de ação foi eficaz.

A aquisição do valor de umidade relativa do ar na residência, não monitorada anteriormente, apresenta uma grande importância para o ser humano, pois em determinados níveis se torna prejudiciais à saúde (Tonelli, 2009).

O acionamento de cargas funciona mediante a não existência de fumaça no ambiente, o que anteriormente não era monitorado, mesmo após o acionamento das cargas. A partir do momento que o sistema detecta fumaça, estas são automaticamente desabilitadas.

O ESP8266 NodeMCU, demonstrou ser uma ferramenta confiável para a gestão deste sistema, sendo sua integração ao Adafruit IO bastante intuitiva e confiável, em que uma das poucas restrições encontradas neste sistema foi que o serviço, por ser gratuito, oferece um limite máximo de troca de dados por minuto e um número máximo de sensores ou atuadores que podem ser utilizados nos painéis. Se houver a necessidade de mais dispositivos, ele terá que obrigatoriamente contratar o serviço pago, que expande estes itens e oferece outras ferramentas dentro deste ambiente.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho realizou-se um estudo de caso da automação residencial interativa, demonstrando a facilidade de implementação e uso. Não tendo um custo elevado para adquirir os componentes utilizados, aumentando a possibilidade de inclusão maior das classes de menor poder aquisitivo a estes sistemas.

Para o problema descrito, foi construído um protótipo funcional, que coleta os dados e envia para o *broker*, localizado no serviço em nuvem da plataforma AdafruitIO. Esta por sua vez exibiu os dados nos painéis gráficos, disponível ao usuário em tempo real, de forma autônoma.

A restrição encontrada neste sistema foi que o serviço, por ser gratuito, oferece um limite máximo de troca de dados por minuto e um número máximo de sensores ou atuadores que podem ser utilizados nos painéis. Havendo a necessidade do usuário em adicionar mais dispositivos, ele terá que obrigatoriamente contratar o serviço que contém mais opções.

Durante o projeto, a alimentação através da placa ESP8266 NodeMCU do circuito de iluminação apresentou falhas com relação a corrente necessária para o funcionamento deles. Foi necessário prover ao sistema de iluminação uma fonte externa de alimentação, com tensão de funcionamento de 5V.

Futuramente, este trabalho pode ser expandido, adicionando interfaces de acionamentos e comunicação, como por exemplo no controle autônomo do sistema de irrigação das plantas, trabalhando em conjunto com o sensor de umidade do solo.

Também, através da comunicação com o sistema de ar-condicionado, pode ser desenvolvido um algoritmo, que crie a relação entre qualidade do ar e eficiência

energética, visando a redução do consumo de energia da residência. Existem várias possibilidades de expansão deste sistema, podendo se adequar a diversas necessidades do usuário.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, Anderson Vinícius Toledo. **Principais desafios na automação residencial: prototipação com arduino**. 2013. 57 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Pesquisa Operacional e Inteligência Computacional, Universidade Candido Mendes, Campos dos Goytacazes, 2013. Disponível em: <https://mpoic.ucam-campos.br/wp-content/uploads/2013/11/Anderson-Vin%C3%ADcius-Toledo-Andrade.pdf>. Acesso em: 25 jul. 2021.

ARDUO ELETRO. **Kit com 37 módulos / sensores para arduino**. 2021. Disponível em: <https://www.arduoeletro.com/kit-com-37-modulos-sensores-araarduino-pic-raspberry>. Acesso em: 20 ago. 2021.

BARROS, Auriza Lopes de. **Edifícios Inteligentes e a Domótica: proposta de um projecto de automação residencial utilizando o protocolo x-10**. 2010. 135 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia de Construção Civil, Universidade Jean Piaget de Cabo Verde, Cidade da Praia, 2010. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/38682531.pdf>. Acesso em: 25 jul. 2021.

CEZAR, Edvandro Roberto da Silva. A DOMÓTICA CRIANDO CONFORTO E SEGURANÇA. **Revista Ubiquidade**, [s. l.], v. 3, n. 2, p. 20-29, 2 jul. 2020. Semestral. Disponível em: <https://revistas.anchieta.br/index.php/RevistaUbiquidade/issue/view/210>. Acesso em: 19 ago. 2021.

COSTA, Kevin Rabelo; ANTUNES, Fernando Luiz Marcelo; NASCIMENTO, Anderson Jhones Passos; MUNIZ, Adão Linhares; CASTELO, Ricardo; CARVALHO, Gabriel Marçal da Cunha Pereira. MQTT based Monitoring and Management System for Distributed Generation Units. In: SEMINAR ON POWER ELECTRONICS AND CONTROL (SEPOC 2021), 13., 2021, Santa Maria. **Proceedings of the 13th Seminar on Power Electronics and Control (SEPOC 2021)**. Santa Maria: Sepoc, 2021. p. 1-5. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/21812>. Acesso em: 28 ago. 2021.

CUNNINGHAM, Collin. **Bluefruit LE Connect for iOS and Android: controller**. Controller. 2015. Disponível em: <https://learn.adafruit.com/bluefruit-leconnect/controller>. Acesso em: 11 dez. 2021.

DOMINGUES, Ricardo Gil; PINA FILHO, Armando Carlos. A importância da domótica para a sustentabilidade das cidades. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 5, n. 10, p. 18477-18495, 08 out. 2019. Brazilian Journal of Development. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv5n10-101>. Disponível em:

<https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/3698>. Acesso em: 18 ago. 2021.

FACHINI, Moisés Panegassi; MESQUITA, Nathalia Pinheiro; OLIVEIRA, Rafael Padovani; FRANÇA, Patricia Gallo de. Internet das Coisas: uma breve revisão bibliográfica. **Conexões - Ciência e Tecnologia**, [S.L.], v. 11, n. 6, p. 85, 29 dez. 2017. IFCE. <http://dx.doi.org/10.21439/conexoes.v11i6.1007>. Disponível em: <http://conexoes.ifce.edu.br/index.php/conexoes/article/view/1007>. Acesso em: 28 ago. 2021.

GINJO, José Luís Boticário. **Implementação de um sistema de domótica híbrido**. 2017. 167 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, Departamento de Engenharia Eletrotécnica, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, 2017. Disponível em: <https://recipp.ipp.pt/handle/10400.22/14317>. Acesso em: 20 ago. 2021.

GUEDES, Guilherme Maciel. **CASA 4.0: estudo de funcionalidades que uma automação residencial interativa proporciona**. 2021. 52 f. Monografia (Graduação) - Curso de Tecnólogo em Automação Industrial, Universidade Estadual do Rio Grande do Sul - Uergs, Porto Alegre, 2021. Disponível em: <https://repositorio.uergs.edu.br/xmlui/handle/123456789/1892>. Acesso em: 30 jun. 2023.

GREHS, Daniel Henrique. **Sistema de irrigação doméstico baseado em Internet das Coisas**. 2016. 55 f. Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia de Computação, Instituto de Informática, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/147673>. Acesso em: 22 ago. 2021.

JOSÉ, Mauro; GIACOMELLI, Waldiney; LUIS, Vinícius; FONTES, Marina. **Domótica via web ao alcance da classe média baixa**. 2012. Disponível em: <https://propi.ifto.edu.br/ocs/index.php/connepi/vii/paper/view/2995>. Acesso em: 01 ago. 2021.

MSS ELETRONICA. **Kit Módulo relê para automação residencial RF 433Mhz 4 canais Bivolt - RL04A com controle remoto de 4 botões - Automação com Broadlink TouchLight GeekLink**. Disponível em: https://www.msseletronica.com.br/detalhes/kit-modulo-rele-para-automacaoresidencial-rf-433mhz-4-canais-bivolt-rl04a-com-controle-remoto_pid1206_trk4.html. Acesso em 22 ago. 2021.

MURATORI, José Roberto; BÓ, Paulo Henrique Dal. **Automação residencial: histórico, definições e conceitos**. 2011. Disponível em: <https://osetoreletrico.com.br/capitulo-i-automacao-residencial-historico-definicoes-e-conceitos/>. Acesso em: 01 ago. 2021.

NUNES, Renato Jorge Caleira. **Análise comparativa de tecnologias para domótica**. 2002. Disponível em: <http://domobus.net/docs/>. Acesso em: 19 ago. 2021.

OLIVEIRA, Euler. **Como usar com Arduino – Módulo Relé 5V de 4 Canais**. 2021. Disponível em: <https://blogmasterwalkershop.com.br/arduino/como-usar-comarduino-modulo-rele-5v-de-4-canais>. Acesso em: 22 ago. 2021.

OLIVEIRA, Sergio de. Introdução. In: OLIVEIRA, Sergio de. **Internet das Coisas com ESP8266, Arduino e Raspberry Pi**. São Paulo: Novatec Editora Ltda, 2017. Cap. 1. p. 17-19. Disponível em: https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=E8gmDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA17&dq=internet+das+coisas&ots=5QNgbra05D&sig=-uF2Ai_lb52is9R1WziFW2wSx9Y#v=onepage&q=internet%20das%20coisas&f=false. Acesso em: 22 ago. 2021.

PEIXOTO, João Alvarez. **ESP8266 NodeMCU: do piscaled à internet das coisas**. Porto Alegre: Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (Uergs), 2021. 201 p. Disponível em: <https://pt.calameo.com/books/005647350c64b126c49b1>. Acesso em: 28 ago. 2021.

RIBEIRO, Carlos Eduardo. **DOMÓTICA: viabilidade da Automação Residencial**. 2018. 73 f. Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Centro Universitário Sul de Minas, Varginha, 2018. Disponível em: http://192.100.247.84/bitstream/prefix/651/1/MONOGRRAFIA%20-%20Viabilidade%20da%20Automa%3%a7%3%a3o%20Residencial_FINAL.pdf. Acesso em: 20 ago. 2021.

SANTOS, Jean Willian; LARA JUNIOR, Renato Capelin de. **Sistema de automatização residencial de baixo custo controlado pelo microcontrolador esp32 e monitorado via smartphone**. 2019. 46 f. Monografia (Graduação) - Curso de Tecnólogo em Automação Industrial, Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2019. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/16960>. Acesso em: 25 jul. 2021.

SILVA, Antonia Natalia da Conceição; OLIVEIRA, Eduardo Rodrigues de. **Desenvolvimento de um sistema de automação residencial baseado em domótica**. 2019. 19 f. Monografia (Graduação) - Curso de Bacharelado em Sistemas de Informação, Centro Universitário do Planalto Central Aparecido dos Santos, Brasília, 2019. Disponível em: https://dspace.uniceplac.edu.br/bitstream/123456789/394/1/Ant%C3%B4nia%20Nat%C3%A1lia%20Silva_0003522%20Eduardo%20Rodrigues%20de%20Oliveira_0003394.pdf. Acesso em: 01 ago. 2021.

SOMBRIO, Yuri Machado. **Um estudo comparativo entre placas e ambientes de desenvolvimento em um contexto mecatrônico**. 2021. 60 f. Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Mecatrônica, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Florianópolis, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ifsc.edu.br/bitstream/handle/123456789/2061/MONOGRRAFIA%20-%20Yuri%20Machado%20Sombrio.pdf?sequence=1>. Acesso em: 18 ago. 2021.

SOUZA, Denilson da Silva; GONÇALVES, Glauber Dias. Análise do Uso de Comunicação Dispositivo a Dispositivo para Transferência de Dados Compartilhados em Serviços de Armazenamento Pessoal em Nuvem. **Revista de Sistemas e**

Computação - RSC, Salvador, v. 10, n. 3, p. 275-284, 2020. Quadrimestral. Disponível em: <https://revistas.unifacs.br/index.php/rsc/article/view/6895/4241>. Acesso em: 18 ago. 2021.

SUA OBRA. **Aplicações da Domótica**. 2021. Disponível em: <https://www.suaobra.com.br/dicas/seguranca-e-tecnologia-residencial-veja-adomotica>. Acesso em 20 ago. 2021.

TONELLI, João Marcelo de Moraes. **Monitoramento e controle de temperatura e umidade de ambientes**. 2009. 103 f. Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia da Computação, Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2009. Disponível em: <https://repositorio.uniceub.br/jspui/bitstream/123456789/3341/2/20416589.pdf>. Acesso em: 20 out. 2021.

VIANNA, Gabriel Pereira. **Domótica: automação residencial com baixo custo utilizando o arduino**. 2018. 63 f. Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Centro Universitário Unifacvest, Lajes, 2018. Disponível em: https://www.unifacvest.edu.br/assets/uploads/files/arquivos/ddb87-6_gabriel_viana.pdf. Acesso em: 20 ago. 2021.

17

ESTUDO PRELIMINAR DE AUTOMAÇÃO DOS MONITORAMENTOS E ACIONAMENTOS NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE CERVEJA ARTESANAL DE FORMA REMOTA

Henri De Araújo De Andrade

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo sintetiza o trabalho de conclusão de curso de Andrade (2021), que implementou um sistema de monitoramento remoto, para observar variáveis de processo da fabricação de cerveja artesanal.

A cerveja é a bebida alcóolica mais consumida no mundo e fica em terceiro lugar se for considerada todas as bebidas, a trás da água e do chá (Morado, 2009). No Brasil, com o movimento das cervejas artesanais, há um acentuado crescimento. Em dez anos saímos de 114 cervejarias chegando a 1.383 cervejarias no ano de 2020 (MAPA, 2021).

Na história da humanidade, a cerveja foi fomentadora de diversas inovações, como o desenvolvimento da agricultura (plantações cereais para produção de cerveja e pão), a pasteurização (com Louis Pasteur²⁸), a escala de pH (com Soren Peter Lauritz Sorensen²⁹) e o desenvolvimento da refrigeração. Além disso, seu crescimento acompanhou as novas tecnologias existentes.

Hoje, com todo o conhecimento milenar da cerveja, com diversas ferramentas e tecnologias, é possível produzir de forma caseira uma cerveja de alta qualidade, algo impensado a pouco tempo (Mosher, 2004).

²⁸ Louis Pasteur cientista francês inventor do processo de pasteurização ao estudar a fermentação na indústria cervejeira. Fonte:<http://www.fiocruz.br/biosseguranca/Bis/Biograf/ilustres/louis.htm>

²⁹ Soren Peter Lauritz Sorensen químico Dinarmaquês, foi chefe do laboratório da cervejaria Carlsberg. Inventou a escala pH ao estudar o efeito da concentração de íons nas proteínas. Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/S%C3%B8ren_S%C3%B8rensen

A fabricação de produtos artesanais se diferencia da produção industrial nos detalhes em que o processo é realizado, em que a presença do especialista é constante, monitorando e atuando em todo o processo (Freitas, 2008).

A produção caseira de cerveja é um trabalho árduo. Que exige muitas variáveis a serem controladas (temperatura, quantidade de ingredientes e tempos de processos), além do tempo necessário para realizar o processo, sendo que a primeira etapa, a Brassagem, dura de 6 a 8 horas. A parte fria do processo, que engloba a fermentação e a maturação, ocorre em dias ou até meses, dificultando muito o monitoramento direto (Hughes, 2013).

Uma cerveja considerada de qualidade é resultado do rigor e empenho do cervejeiro nas suas diversas etapas de preparação. A evolução do cervejeiro vem da crítica do resultado, que vem da experiência e da comparação com outras produções.

Os cervejeiros artesanais contam com os mesmos insumos e técnicas das cervejarias comerciais, sendo que com cuidado na limpeza, no uso de ingredientes novos e, principalmente, com controle da temperatura dos processos, são capazes de produzir uma cerveja com qualidade igual ou superior que uma cervejaria industrial (Mosher, 2004; Hughes, 2013).

Os cervejeiros caseiros estão em busca de novas formas de reduzir os esforços de fabricação e melhorar os resultados obtidos. E, como resultado, melhorar a repetibilidade das cervejas produzidas.

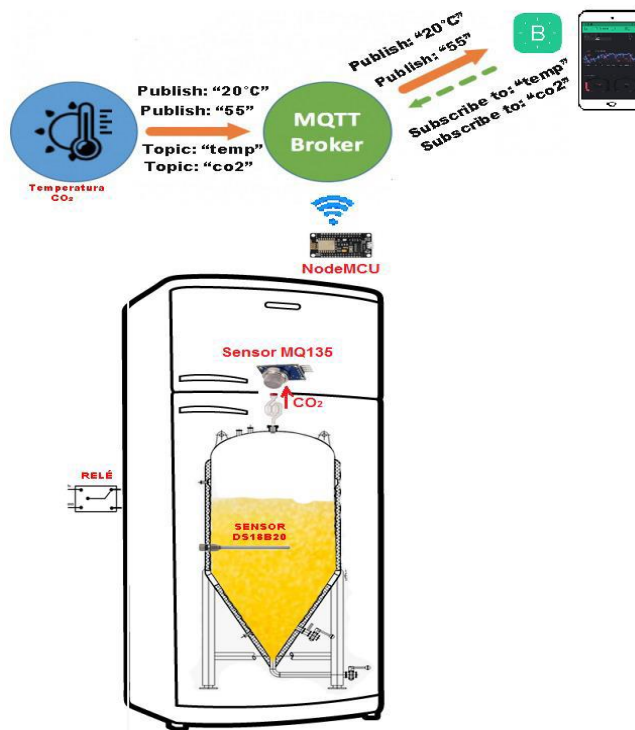
Com o surgimento de novas tecnologias, como o módulo microprocessado Arduino, o desenvolvimento da internet das coisas e o custo reduzido dos componentes eletrônico, favorece muito a criação de soluções de custo reduzido em sistemas embarcados (Oliveira, 2017).

Isto faz crer que a automação do sensoriamento e atuação de sistemas de fabricação de produtos artesanais, com disponibilização dos dados e comandos em nuvem, permite que o fabricante execute parte da operação de forma remota, não atuando continuamente no processo, mas monitorando e sendo alertado de inconsistências.

O objetivo geral do presente trabalho é subdividido em objetivos específicos. Uma forma de dividir as atividades e análises, de forma complementar e integrada. O objetivo geral propõe a automação do sensoriamento e atuação de sistemas de fabricação de produtos artesanais, com disponibilidade dos dados e comandos em nuvem, permitindo que o fabricante execute parte da operação de forma remota, não atuando continuamente no processo, mas monitorando e sendo alertado de inconsistências. Auxiliando na tomada de decisão em processos e registro de anomalias, para correções de futuras produções.

Como protótipo funcional, o trabalho irá monitorar e atuar de forma remota em um processo de fabricação de cerveja artesanal, na etapa de fermentação, conforme Figura 17.1.

Figura 17.1 – Proposta de protótipo funcional



Fonte: Autor (2021).

Os objetivos específicos, que somados irão compor o objetivo geral, são propostos os seguintes:

- estudar as aplicações de automação na fabricação de cervejas artesanais;
- selecionar as grandezas que serão monitoradas e atuadas;
- selecionar um método de interação remota com o monitoramento/atuação automatizado;
- implementar o protótipo funcional de fabricação de cerveja artesanal com monitoramento remoto;
- implementar a interação do protótipo com *broker* em nuvem;
- editar aplicativo supervisorio;
- analisar comparativamente os ganhos de monitoramento remoto;
- publicar os resultados do trabalho em monografia.

Entendendo um pouco mais sobre a fabricação de cerveja, o processo de fabricação é relativamente simples. Inicia com a moagem da cevada maltada. Esses grãos

moídos são colocados em infusão com água. Essa etapa é chamada de mosturação (Morado, 2009).

A mosturação é realizada com o aquecimento em temperaturas específicas, que ativam as enzimas *alfamilase* (60°C a 65°C) e a *betamilase* (65°C a 70°C), responsáveis por transformar o amido da cevada em glicose. Após a mosturação, é realizada a filtragem do mosto (líquido resultante da mosturação), momento em que se separa o líquido dos grãos. Com o líquido filtrado, se aquece o mosto até ferver.

A fervura decorre no mínimo uma hora e nesta etapa há a adições de lúpulo (flor). Ingrediente que age como um tempero, conferindo amargor, sabor e aroma a cerveja. Terminada a fervura, se faz o *whirlpool* (turbilhonamento, que gera um redemoinho) para haver decantação de toda massa vegetal de lúpulo no centro do fundo da panela, clarificando o mosto. Depois se resfria o mosto lupulado à uma temperatura ideal a adição da levedura (fungo).

O líquido resfriado é transferido para o fermentador oxigenando deixando o mosto pronto para receber a levedura. Com a adição da levedura, inicia-se a fermentação, que dura alguns dias. A levedura consome toda glicose disponível gerando principalmente álcool e CO₂. Finalizada a fermentação, se realiza a maturação, com a diminuição da temperatura, em que há a busca por melhorar os aromas da cerveja e facilitar a filtragem.

E por fim, se chega ao envase, em que se coloca a cerveja em garrafas ou barris, fazendo também a carbonatação (adição de CO₂) da cerveja, que já está própria para o consumo. Na Figura 17.2 mostra um resumo de todo o processo de fabricação de cerveja (Morado, 2009).

Figura 17.2 – Processo de fabricação de cerveja



Fonte: Beer (2021).

outros. Se tornando mais proativa do que propriamente informativa, passiva ou reativa (Stevan Junior, 2018).

A internet das coisas pode ser vista a partir de muitas perspectivas. Numa perspectiva de casas inteligentes, em que dispositivos de automação transformam o ambiente residencial mais cômodo aos seus moradores. Em uma perspectiva de cidades inteligentes, é agregado a capacidade de conectividade, segurança, transporte e mobilidade, com o monitoramento das variáveis de ambiente e/ou interatividade, servindo de subsídio para decisões de forma sustentável, humana e social.

Na perspectiva industrial, IIoT (*Industrial Internet of Things*) com a indústria 4.0 com altíssimo nível de sensoriamento, com a integração do controle e inteligência artificial por intermédio dos mais diferentes sistemas de comunicação, integra diversos conceitos da indústria, como supervisão e manutenção, coleta abundante de sinais de sensores, comunicação máquina a máquina (M2M) e tecnologias de automação.

Com acréscimo de tecnologias mais atuais, como máquinas inteligentes, a interconexão de diferentes redes de comunicação e incremento nos requisitos de segurança, trazem aplicações no transporte e logística. Somadas às tecnologias móveis, provocando melhoria da produtividade e aumento da rentabilidade do setor. De forma adicional, as ferramentas IoT permite que todas as coisas em movimento possam ser identificadas e/ou rastreadas por códigos de barra ou *tags* RFID.

A IoT possibilita que muitos elementos da frota sejam monitorados continuamente, como rastreamento das cargas, comunicação da empresa, aumento da segurança da frota e otimização das intervenções de manutenção.

Na perspectiva de saúde e entretenimento, há uma visão mais conservadora em relação a IoT. Os dispositivos médicos conectados e as diferentes aplicações voltados ao cuidado da saúde estão cada vez mais evoluídos, dando suporte ao que se chama de Internet das coisas médicas (IoMT). Paralelamente à medicina, a manutenção da saúde também se baseia na prática de exercícios. Hoje técnicos e juízes fazem uso abundante de imagens e *softwares*, que mapeiam os movimentos dos atletas e dos equipamentos.

Na perspectiva de agronegócio, com surgimento da agricultura de precisão, houve um aumento da automação das fazendas, resultando em um processo de digitalização, ao que se conhece como fazendas inteligentes (Stevan Junior, 2018).

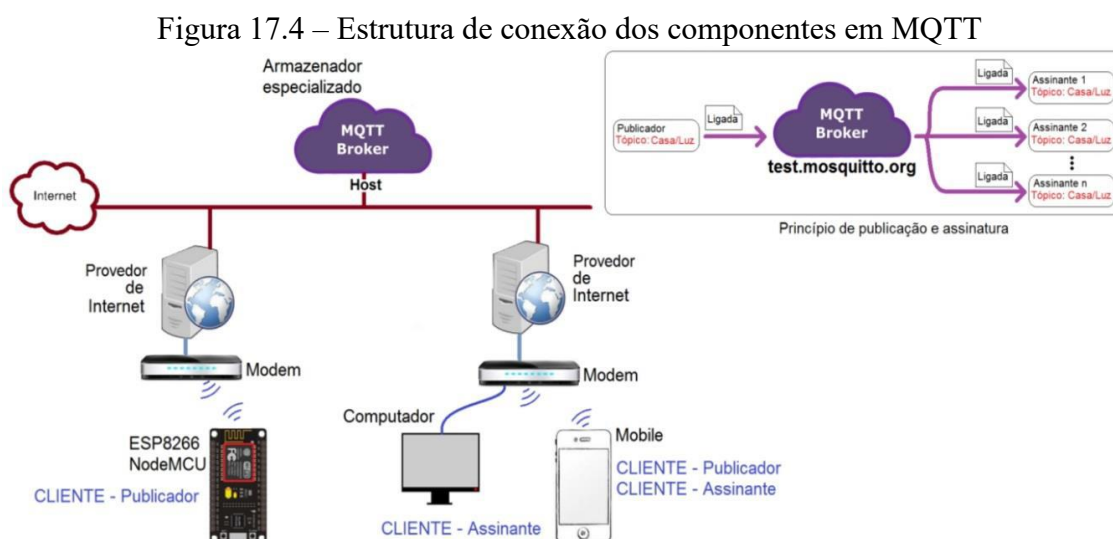
Contudo, as aplicações da IoT continuarão a evoluir junto de novas tecnologias, fazendo com que dispositivos ou objetos que ainda não possuem uma conexão de rede, possam ter uma conexão adicionada no futuro (Hosain, 2018).

Mas, para que as informações saiam dos equipamentos que controlam a produção de cerveja e cheguem até o operador, faz-se necessário um protocolo de comunicação e uma plataforma IoT, a fim de apresentar os dados e comandos ao usuário, de forma amigável a esse.

O protocolo MQTT (*Message Queueing Telemetry Transport*) é uma solução para os dispositivos atuarem na internet das coisas. Ele possui três componentes: o cliente publicador (*publisher*), o cliente assinante (*subscriber*) e o agente de recebimento e entrega de mensagens (*broker*) (Peixoto, 2021).

O *broker* atua da mesma forma que um servidor *web*, porém de um modo mais simplificado e orientado a aplicações que repassam dados simples. A sintaxe é simples e leve, sendo suportada pela maioria dos sistemas IoT, incluindo o Arduino e o NodeMCU (Oliveira, 2017).

A publicação e recebimento de dados são realizados através do *broker*. Um cliente (*publisher*) transmite a mensagem ao *broker*, escrevendo em um tópico (endereço para qual uma mensagem será encaminhada). O *broker* é responsável por gerir e encaminhar a mensagem ao *subscriber*, previamente inscrito no tópico. Um cliente também pode ser um *subscriber* em determinado tópico, encaminhando a mensagem ao *broker*, que fará a interligação entre o cliente e tópico (Locatelli, 2020). A Figura 17.4 mostra a estrutura de conexão dos componentes em MQTT.



Fonte: Peixoto (2021).

E como plataforma de IoT, surge o Blynk como uma alternativa. Blynk é uma plataforma IoT composta por três partes: o Blynk App, o Blynk *Server* e a Blynk *Library* (Serrano,2018).

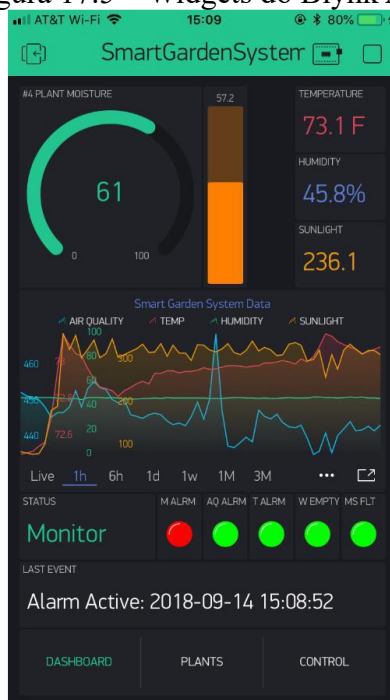
De acordo com Peixoto (2021) o Blynk *server* é um servidor na internet que se conecta e troca informações entre o Blynk App e os microcontroladores dotados da Blynk *Library*.

Cada projeto no Blynk App possui um *token* próprio, que é uma chave alfanumérica, inserida no programa do microcontrolador e possibilita a conexão do mesmo com o Blynk *server* (Peixoto, 2021).

O Blynk App é um aplicativo personalizável, que permite controlar e monitorar um *hardware* programável. Ele tem a capacidade de suportar mais de 400 placas de *hardware* (como Arduino, NodeMCU e Raspberry) e pode ser executado nos sistemas operacionais iOS e Android (Seneviratne, 2018).

A construção da interface gráfica é realizada com a inserção de objetos, que são chamados de *widgets* e possuem muitas funções (como caixa de entrada de texto e números, botões, *displays* e gráficos) (Seneviratne, 2018). A Figura 17.5 mostra os *widgets* de um projeto no Blynk App.

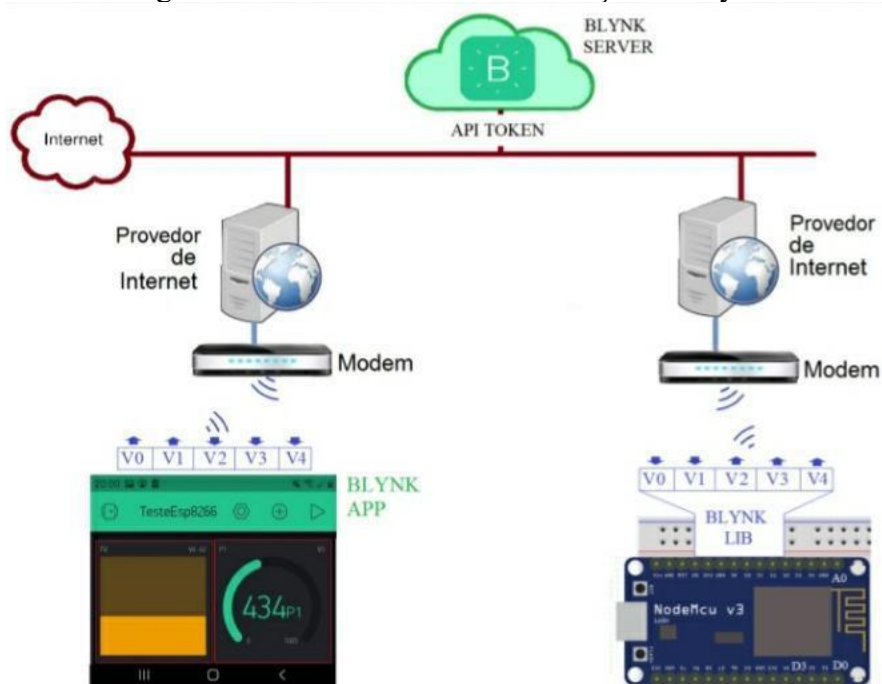
Figura 17.5 – Widgets do Blynk App



Fonte: Seneviratne (2018).

Cada objeto está vinculado a uma variável, que compartilha dados com o microcontrolador e são inseridas no código do seu programa (Peixoto, 2021). A Figura 17.6 ilustra a estrutura de comunicação do Blynk.

Figura 17.6 – Estrutura de comunicação do Blynk



Fonte: Peixoto (2021).

2 METODOLOGIA

Neste capítulo será apresentado a classificação da pesquisa, quais os limites de aplicação da pesquisa e o método utilizado no presente trabalho. Método que é um conjunto de passos que deverão ser seguidos, até que os objetivos da pesquisa sejam atingidos (FADEPE, 2021).

As pesquisas qualitativas buscam explicar um objeto de estudo ou um contexto de aplicação, com dados de funcionalidades, não sendo possível generalizar os resultados para outros contextos (Leitão, 2009). Neste trabalho pelo método aplicado, a pesquisa é qualitativa, pois traz novas funcionalidades na fabricação da cerveja, com a atuação e monitoramento do processo remotamente.

A pesquisa exploratória busca a maior familiaridade com o problema, tornando-o mais claro. Normalmente este tipo de pesquisa envolve levantamento bibliográfico,

entrevistas com pessoas que tiveram experiências com o problema pesquisado e análise de exemplos que estimulem a compreensão (Gil, 2002). Neste trabalho, pelo objetivo, a pesquisa é exploratória, pois foram pesquisados outros trabalhos de automação na fabricação de cerveja artesanal. E com o levantamento bibliográfico de autores experientes na produção de cerveja.

A pesquisa experimental determina um objeto de estudo, selecionando as variáveis que o influenciam, definindo formas de controle e de observar os efeitos que a variável produz no objeto (Gil, 2002). Neste trabalho pela característica, a pesquisa é experimental, pois no controle e monitoramento houve análise das variáveis dos processos envolvidos na fabricação de cerveja artesanal (temperatura, pH, volume, emissão de CO₂, entre outras).

A qualidade da cerveja depende muito do controle de variáveis, que exige um monitoramento direto (Hughes, 2014).

O método aplicado neste trabalho pode ser executado em qualquer processo de fabricação de cerveja artesanal. Servindo como uma ferramenta auxiliar no controle dos processos, gerando dados para comparação de lotes diferentes de produção de cerveja.

Também pode ser aplicado a outros processos de beneficiamento e fabricação de alimentos, que requeiram monitoramento contínuo de suas variáveis de processo. Basta que se possa instrumentar as variáveis de interesse e comandar os atuadores envolvidos no processo. Desta forma, o método aplicado se torna mais abrangente.

Na proposta de método aplicado, inicialmente, realiza-se um mapeamento das variáveis dos processos de produção de cerveja e quais são mais importantes serem monitoradas e controladas.

Depois, se realiza uma pesquisa de dispositivos eletrônicos (sensores, atuadores e módulos microcontrolados), que são mais adequados, definindo o *hardware* do projeto. Para definição do *hardware* e escolhas dos dispositivos, usa-se o critério de definição da estratégia de conexão com a rede internet, a alimentação do dispositivo IoT e a interface dos sensores e atuadores com o módulo microcontrolador.

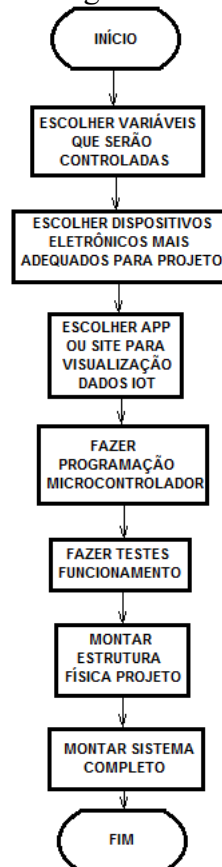
A partir deste ponto, define-se qual aplicativo ou site especializado será utilizado para visualização dos dados transmitidos pelo dispositivo IoT, realizando a implementação das telas de exibição. Definido o *hardware* e o local de visualização dos dados, é realizada a programação do módulo microcontrolador e sua carga no dispositivo.

Depois disso se realiza testes de funcionamento dos dispositivos eletrônicos e a visualização dos dados em nuvem.

E por fim, realiza-se a confecção da estrutura física do projeto e a montagem do sistema completo.

A Figura 17.7 mostra o fluxograma do método aplicado.

Figura 17.7 – Fluxograma do método aplicado



Fonte: Autor (2021).

A escolha das variáveis mais importantes é realizada com base na sua influência no resultado, para simplificar o controle e monitoramento do processo. Algumas variáveis não mudam o seu comportamento nos processos. A escolha dos dispositivos eletrônicos mais adequados para o projeto deve levar em conta a interconexão dos dispositivos, a montagem do dispositivo no processo, as condições de trabalho, a estratégia de conexão com a rede de internet, a alimentação dos dispositivos, entre outros fatores.

A escolha de qual local será visualizado os dados do dispositivo IoT e a aparência da tela de visualização baseia-se na facilidade de uso, na facilidade de configurações e alterações do sistema. A familiaridade de conhecimento em computação em nuvem é importante na escolha. Alguns aplicativos exigem pouca experiência anterior do usuário, tornando-se uma opção para iniciantes.

A programação do microcontrolador é definida pela experiência do programador, em que o programador vai escolher qual linguagem será usada no projeto, qual *software* será usado para programação, compilação e carregamento do código do programa. O programador deve prever aspectos de oscilação no funcionamento (falta de energia, interrupção da rede de internet, economia de energia, no caso de o dispositivo IoT for alimentado por baterias, entre outros fatores).

Testes de funcionamento tem o objetivo de avaliar a programação do microcontrolador, comportamento dos dispositivos, testar a rede de internet e a segurança do projeto.

A montagem física deve ser definida considerando a facilidade de confecção e uso das peças mecânicas, a leitura correta dos sensores, a ação correta dos atuadores, garantir a segurança do sistema e do usuário e a vida útil dos dispositivos eletrônicos.

A montagem do sistema completo é a última etapa, em que são realizados os últimos ajustes do projeto para que o sistema funcione conforme previsto.

3 RESULTADOS E ANÁLISE

O método foi aplicado na fermentação de cerveja artesanal, sendo realizadas brasagens e testado o sistema em condições reais de fermentação de cervejas artesanais.

As variáveis mais importantes na fermentação são a temperatura, a densidade e a emissão de CO₂. No controle do processo de fermentação a temperatura é a variável mais importante no ótimo trabalho das leveduras e na qualidade final da cerveja. O monitoramento da densidade e emissão de CO₂ são importantes na caracterização da atividade das leveduras e definição do fim da fermentação (Boulton; Quain, 2001).

O Quadro 17.1 mostra o significado de cada variável da fermentação de cerveja.

Quadro 17.1 – Variáveis da fermentação de cerveja

Temperatura	Cada levedura trabalha em uma faixa de temperatura e a definição da temperatura alvo da fermentação tem influência no resultado da cerveja.
Densidade	Durante a fermentação a densidade do mosto vai reduzindo com a atuação das leveduras, mantendo-se estável no fim da fermentação.
Emissão de CO ₂	A partir do término da fase de adaptação até o fim da fermentação a levedura produz CO ₂ . A falta de atividade no <i>airlock</i> pode indicar o fim da fermentação.
pH	Durante a fermentação há alterações pH no mosto.

Fonte: Autor (2021).

No monitoramento da atividade das leveduras, se optou por monitorar a emissão de CO₂, por ser mais fácil a adaptação no fermentador e acessível encontrar sensores de gás de baixo custo. E por ser importante no processo, foi controlada a temperatura com alterações do *setpoint* remotamente.

Na escolha dos dispositivos eletrônicos, em primeiro lugar foi escolhido o microcontrolador. Pela familiaridade com o Arduino, foi escolhido o módulo ESP8266 NodeMCU, com a facilidade de ser programado na IDE Arduino, por ser compacto e por ter integrado no módulo uma antena *wifi*, facilitando a conexão com a rede internet.

No monitoramento da emissão de CO₂ foi escolhido o sensor de gás MQ-135, por ser fácil sua adaptação com o módulo NodeMCU e por ter um custo menor comparado ao sensor de CO₂ MG811.

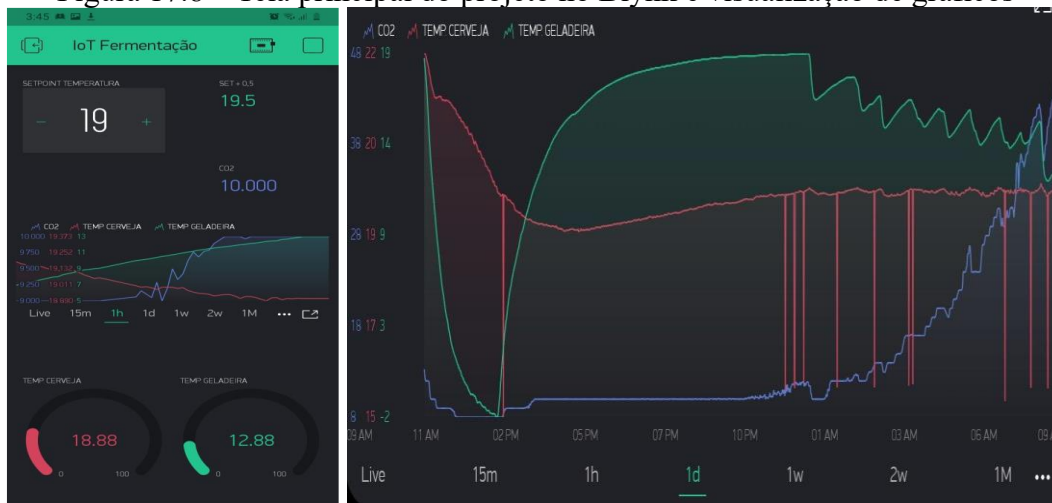
Para monitorar a temperatura foi usado dois sensores de temperatura DS18B20, um para monitorar a temperatura interna da geladeira e outro para monitorar a temperatura da cerveja no fermentador. Foi escolhido o sensor DS18B20 por utilizar só um pino de dados para vários sensores e ser acessível sua interface com o módulo ESP8266 NodeMCU.

No controle da temperatura foi utilizado um relé Songle SRD-05VDC-SL-C para acionar o refrigerador, que fez o resfriamento do fermentador.

Para visualização dos dados do dispositivo IoT foi escolhido o App Blynk, por ser simples a construção das telas e a programação da interação do aplicativo com o microcontrolador. O aplicativo tem a vantagem de a construção das telas e a visualização ser realizada em dispositivo *smartphone*. O Blynk tem a possibilidade de visualizar o histórico dos dados em gráficos.

A Figura 17.8 mostra a tela principal do projeto no App Blynk e a visualização do histórico dos dados em gráficos.

Figura 17.8 – Tela principal do projeto no Blynk e visualização de gráficos



Fonte: Autor (2021).

Na programação do módulo NodeMCU utilizou-se a linguagem de programação C++, com uso da IDE Arduino. No código do programa foram utilizadas as bibliotecas OneWire.h para utilizar o sensor DS18B20, a Blynk.h para utilizar o App Blynk e a ESP8266WiFi.h para utilizar o módulo ESP8266 NodeMCU.

As funcionalidades de temperatura foram testadas com a simulação de resfriamento e aquecimento do sensor de temperatura DS18B20, com dois copos de água, um aquecido e outro em temperatura ambiente. Observando a variação da temperatura no App Blynk e o acionamento do relé.

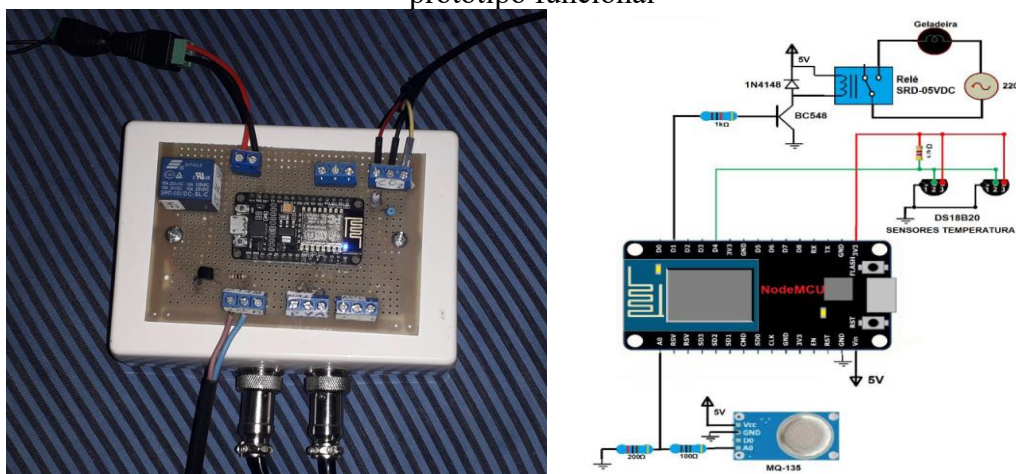
O monitoramento de CO₂ foi testado o funcionamento do sensor de gás MQ-135, aproximando um recipiente de álcool no sensor e o observando a variação no App Blynk.

Além dos testes dos sensores, foi testado o funcionamento do acionamento da refrigeração, a falta de energia (verificando se o sistema funciona perfeitamente no retorno da energia) e da falta da rede *wifi* (verificando se o controle de temperatura funciona sem a internet).

Na montagem física do protótipo funcional, o módulo NodeMCU, os sensores e outros componentes foram montados em uma placa matriz de circuito impresso.

A Figura 17.9 mostra a montagem dos componentes eletrônicos, bem como o diagrama de conexões do protótipo funcional.

Figura 17.9 – Montagem componentes eletrônicos e o diagrama de conexões do protótipo funcional

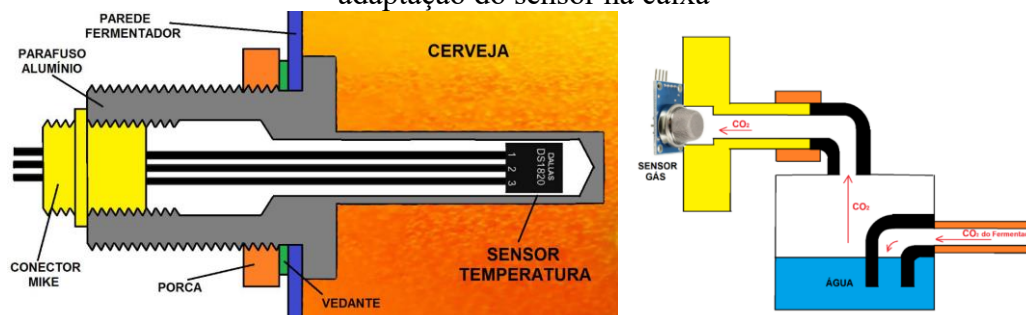


Fonte: Autor (2021).

O sensor DS18B20, que monitora a temperatura interna do fermentador, foi montado com um parafuso de alumínio fixado na parede do fermentador. Para a montagem do sensor de gás MQ-135, que monitora a emissão de CO₂, foi adaptado em uma caixa plástica, de forma que o CO₂ saia pelo dispositivo e a água do recipiente vede o fermentador da entrada de contaminantes.

A Figura 17.10 mostra o desenho esquemático da montagem do sensor e o desenho mecânico da adaptação do sensor na caixa.

Figura 17.10 – Desenho da fixação do sensor de temperatura e o desenho mecânico da adaptação do sensor na caixa

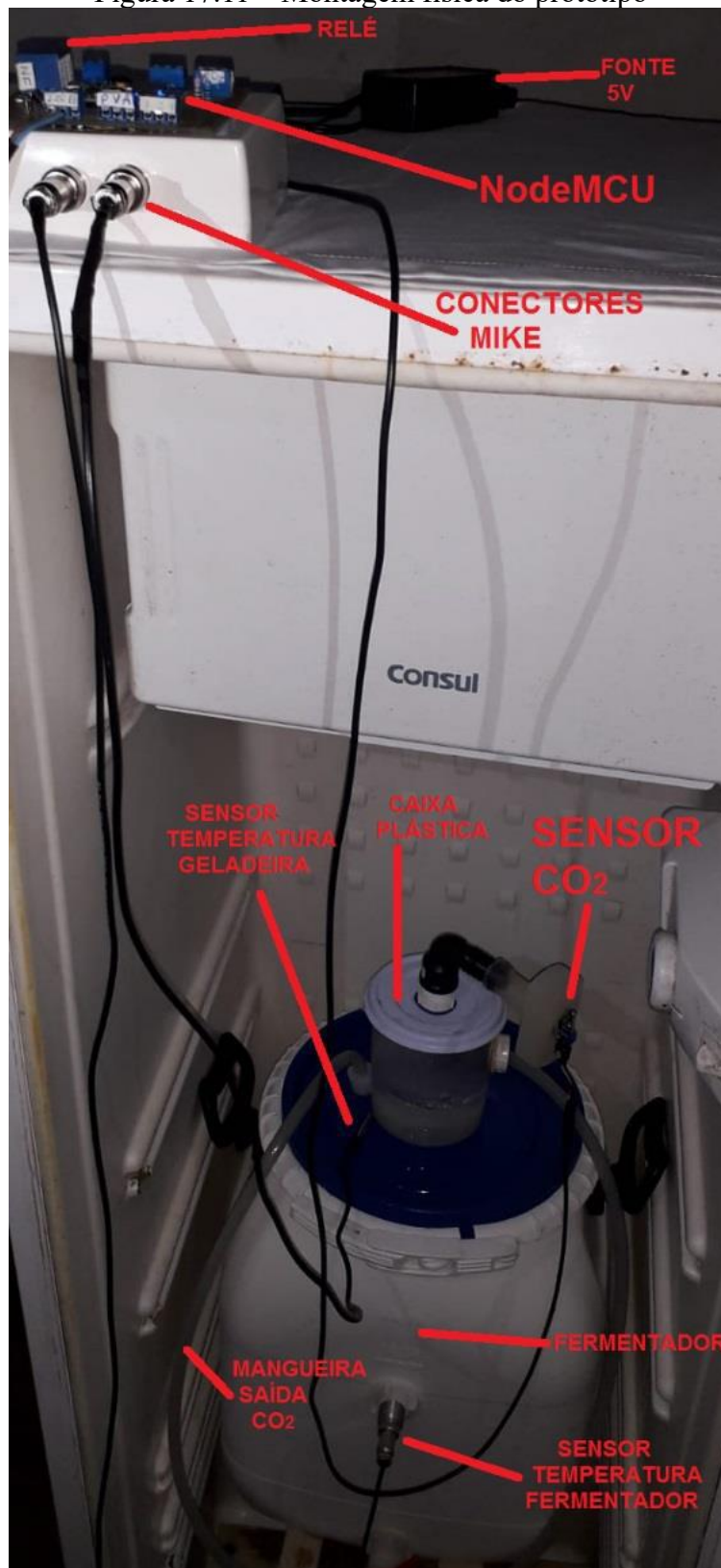


Fonte: Autor (2021).

Na montagem do protótipo, optou-se por colocar a placa com o módulo NodeMCU sobre a geladeira. Os sensores de temperatura DS18B20 foram conectados com a placa com conectores tipo Mike. A caixa plástica com o sensor MQ-135 foi posicionada na tampa do fermentador, conectada com uma mangueira com o fermentador.

A Figura 17.11 apresenta uma visão geral do protótipo funcional.

Figura 17.11 – Montagem física do protótipo



Fonte: Autor (2021).

O projeto foi testado em algumas fermentações de cervejas em condições reais e com diferentes tipos de cervejas, para verificar se o sistema funciona em diferentes

condições. O Quadro 17.2 mostra um comparativo dos estilos de cerveja com o monitoramento da emissão de CO₂ e o controle de temperatura.

Quadro 17.2 – Teste com diferentes estilos de cerveja

Estilo Cerveja	Levedura/ Tipo Levedura	Densidade Inicial (OG) Final (FG)	Temperatura Setpoint (°C)	Emissão de CO ₂	Controle de Temperatura
Black IPA	US-05 ALE	1,062 1,013	19	No monitoramento apresentou curvas características com as fases da fermentação.	Nos dias com temperaturas menores do <i>setpoint</i> a temperatura ficou menor que o <i>setpoint</i> .
Vienna Lager	W34/70 Lager	1,052 1,012	11	Na fase exponencial apresentou níveis mais baixos que os outros estilos.	O controle de temperatura funcionou bem. As temperaturas externas não foram menores que o <i>setpoint</i> .
Saison	T-58 ALE	1,075 1,016	19	Na fase exponencial apresentou níveis mais altos que os outros estilos.	Nos dias com temperaturas menores do <i>setpoint</i> a temperatura ficou menor que o <i>setpoint</i> .

Fonte: Autor (2021).

O protótipo funcional agregou novas funcionalidades ao monitoramento e controle da fermentação para o cervejeiro caseiro. O Quadro 17.3 mostra um comparativo das funcionalidades com o estado anterior ao uso do protótipo funcional.

Quadro 17.3 – Funcionalidades do protótipo

Funcionalidade	Sem a funcionalidade	Com a funcionalidade
Controle temperatura	Sem um controlador de temperatura fica difícil manter a temperatura constante durante toda a fermentação.	A temperatura permanece estável havendo oscilações em nível aceitável.
Monitoramento da Temperatura	O cervejeiro não tem como saber as variações da temperatura na fermentação.	Com os dois sensores, possibilita saber quantas vezes a geladeira foi ligada e ver todas as variações da temperatura no fermentador.
Monitoramento emissão CO ₂	O cervejeiro precisa olhar a movimentação de bolhas diretamente no airclock do fermentador.	O cervejeiro pode visualizar remotamente as variações do nível de CO ₂ . E ver toda as variações da emissão de CO ₂ de toda fermentação, auxiliando na definição do fim da fermentação.
Alterações do <i>setpoint</i> de temperatura remotamente	Com um controlador na geladeira, normalmente o cervejeiro faz alterações presencialmente no controlador.	O cervejeiro faz as alterações remotamente, sem a necessidade de estar no local da fermentação.
Visualização gráfica das variáveis em todo processo	O cervejeiro não possui dados do processo de fermentação.	O cervejeiro tem um panorama amplo de o que ocorreu na fermentação.

Fonte: Autor (2021).

Na pesquisa, as funcionalidades do protótipo têm implicância no resultado da fabricação de cerveja artesanal.

O controle de temperatura garante que a levedura vai trabalhar corretamente, pois com grandes variações na temperatura, há estresse na levedura, gerando *off flavors* (sabores indesejados), afetando a qualidade da cerveja e impossibilitando o reaproveitamento da levedura. Na temperatura abaixo da temperatura recomendada, a fermentação vai demorar mais tempo. E se a temperatura for mais alta haverá uma redução do tempo, porém haverá geração de *off flavors* (Boulton; Quain, 2001).

O monitoramento da temperatura interna da geladeira mostra para o cervejeiro se o acionamento da refrigeração está ocorrendo corretamente. E o monitoramento da

temperatura do fermentador mostra se o sistema está funcionando com a temperatura no valor selecionado no *setpoint* do App Blynk.

Com o monitoramento da emissão CO₂, o usuário saberá se há atividade das leveduras, ou seja, que está fermentando a cerveja.

Alterações do *setpoint* de temperatura de forma remota permite que o cervejeiro faça as transições de temperatura remotamente, mesmo essa funcionalidade não tendo implicância no resultado da fermentação.

A visualização gráfica das variáveis do processo de fermentação, possibilita que o cervejeiro saiba como foi todo o esse processo, auxiliando para identificar a causa de possíveis defeitos da cerveja. Além disso, a visualização ajuda a percepção da influência do ambiente externo ao processo de fermentação, como a redução da temperatura do ambiente externo, abaixo da temperatura de fermentação.

O controle da temperatura é fundamental para uma boa fermentação e tem grande influência na qualidade da cerveja (Boulton; Quain, 2001). A visualização gráfica das variáveis em todo processo de fermentação, auxilia o aperfeiçoamento do sistema e da evolução das cervejas fabricadas. Os monitoramentos de temperatura e emissão de CO₂ vão auxiliar na tomada de decisões do cervejeiro. E as alterações do *setpoint* de temperatura remotamente é um recurso extra para o cervejeiro, de não ter a necessidade de estar presente no local da fermentação.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O protótipo funcional foi projetado para controlar a temperatura da fermentação, com o monitoramento das temperaturas, do fermentador e do refrigerador. E com o monitoramento da emissão de CO₂, com a percepção de qual estágio está a fermentação. Além disso, resultar em um gráfico do processo, com todos os dados ao longo do tempo e remotamente permitir que o usuário fizesse trocas de *setpoint* do controle de temperatura.

O controle de temperatura funcionou corretamente, enquanto a temperatura externa da geladeira não era menor que o *setpoint* (havendo uma redução na temperatura de fermentação). O monitoramento das temperaturas possibilitou saber o que ocorreu no

processo, a influência da temperatura externa da geladeira e a atuação da refrigeração no processo.

No monitoramento da emissão de CO₂ apresentou gráficos que evidenciaram as fases da fermentação. Como o sensor ficou dentro do refrigerador, o nível de CO₂ apresentou um erro, que acompanhava a oscilação da temperatura interna do refrigerador. Ele ficou perceptivo no início e no fim da fermentação, em que os níveis de CO₂ foram menores. Contudo, o monitoramento da emissão de CO₂ não foi decisivo para definir o fim da fermentação, necessitando ainda das medições da densidade da cerveja. As alterações de *setpoint* de temperatura pelo App Blynk ocorreram conforme esperado e os gráficos com os dados de todo o processo de fermentação geraram informações importantes para o cervejeiro.

No monitoramento da temperatura, ficou evidenciado que para estabilidade, deve haver um sistema de aquecimento no fermentador, pela influência da temperatura externa do refrigerador nas temperaturas menores que o *setpoint*. O monitoramento da emissão de CO₂ se mostrou um recurso para acompanhamento da fermentação.

Para trabalhos futuros, fica a sugestão de agregar a este sistema a medição da densidade da cerveja e poderia ser um indicador para prever o fim da fermentação, com a utilização de algoritmos de aprendizagem de máquina, treinando o sistema em diferentes tipos de cerveja, valendo-se de inteligência artificial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, Henri de Araújo. **Estudo preliminar de automação dos monitoramentos e acionamentos no processo de fabricação de cerveja artesanal de forma remota**. 2021. 63 f. Monografia (Graduação) - Curso de Tecnólogo em Automação Industrial, Universidade Estadual do Rio Grande do Sul - Uergs, Porto Alegre, 2021. Disponível em: <https://repositorio.uergs.edu.br/xmlui/handle/123456789/1886>. Acesso em: 30 jun. 2023.

BEER, Bier &. **Terceirização de Produção Para Sua Cerveja**. 2021. Disponível em: <http://www.bierebeer.com.br/terceirizacao-producao-de-cerveja.html>. Acesso em: 15 ago. 2021.

BOULTON, Chris; QUAIN, David. **Brewing Yeast and Fermentation**. Oxford: Blackwell Science, 2001. 659 p.

BRAGA, Mariana Fonseca; Romeiro Filho, Eduardo. Impactos da interação entre processos de produção industrial e artesanal: um estudo de caso. In: Congresso Brasileiro De Engenharia de Fabricação, 5., 2009, Belo Horizonte. **Anais [...]**. Belo Horizonte: Abcm, 2009. v. 5, p. 1-6. Disponível em: <https://www.research.lancs.ac.uk/portal/files/288587104/153001050.pdf>. Acesso em: 11 jul. 2021.

CEVA, Faz Tua. **Kit Cerveja Artesanal 20l**. 2021. Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1002050152-kit-cerveja-artesanal-20lmoedor-de-malte-disco-balanca-_JM. Acesso em: 15 ago. 2021.

FADEPE. **Método Científico**: definições, aplicações, principais tipos e etapas. 2021. Disponível em: <https://fadepe.org.br/2021/06/16/metodo-cientifico-efinicoesaplicacoes-principais-tipos-e-etapas/>. Acesso em: 13 set. 2021.

FREITAS, Ana Luiza Cerqueira. **Design e artesanato**: uma experiência de inserção da metodologia de projeto de produto. 2008. 131 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado Engenharia de Produção, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008. Disponível em: <https://docplayer.com.br/109253357-Ana-luiza-cerqueira-freitas-design-e-artesanatouma-experiencia-de-insercao-da-metodologia-de-projeto-de-produto.html>. Acesso em: 11 jul. 2021.

GIL, Antônio Carlos. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002. 176 p. Disponível em: http://www.uece.br/nucleodelinguasitaperi/dmdocuments/gil_como_elaborar_projeto_d_e_pesquisa.pdf. Acesso em: 11 set. 2021.

HOSAIN, Syed Zaeem. **The Definitive Guide**: the internet of things for business. 3. ed. San Jose: Aeris, 2018. 219 p. Disponível em: <https://docero.com.br/doc/es1vs50>. Acesso em: 31 jul. 2021.

HUGHES, Greg. **Home Brew Beer**. Londres: Dorling Kindersley, 2013. 225 p.

LEITÃO, Carla. **Métodos qualitativos de pesquisa científica**. 2009. Disponível em: <http://www3.serg.inf.puc-rio.br/docs/ComputacaoBrasilOut2009-TutorialMetQual.pdf>. Acesso em: 11 set. 2021.

LOCATELLI, Caroline. **Introdução ao MQTT**. 2020. Disponível em: <https://www.curtocircuito.com.br/blog/introducao-ao-mqtt>. Acesso em: 02 set. 2021.

MAPA. **Anuário da Cerveja 2020**. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/com-crescimento-de-14-4-em-2020-numero-de-ervejarias-registradas-no-brasil-passa-de-1-3-mil/anuariocerveja2.pdf/view>. Acesso em: 11 jul. 2021.

MORADO, Ronaldo. **Larousse da cerveja**. São Paulo: Larousse, 2009. 359 p.

MOSHER, Randy. **Radical Brewing**: recipes, tales, and world-altering meditations in a glass. Boulder Co: Brewers Publications, 2004. 666 p. Disponível em: <https://docero.com.br/doc/5se81>. Acesso em: 06 jul. 2021.

OLIVEIRA, Greici. **NodeMCU– Uma plataforma com características singulares para o seu projeto IoT**. 2017. Disponível em: <https://blogmasterwalkershop.com.br/embarcados/nodemcu/nodemcu-umaplataforma-com-caracteristicas-singulares-para-o-seu-projeto-iot>. Acesso em: 18 jul. 2021.

PALMER, John J. **How to Brew**: everything you need to know to brew great beer every time. 4. ed. Boulder Co: Brewers Publications, 2017.

PEIXOTO, João Alvarez. **ESP8266 NodeMCU:do pisca led à internet das coisas**. Porto Alegre: Uergs, 2021. 212 p. Disponível em: <https://en.calameo.com/books/005647350c64b126c49b1>. Acesso em: 18 jul. 2021.

SENEVIRATNE, Pradeeka. **Hands-On Internet of Things with Blynk**: build on the power of blynk to configure smart devices and build exciting iot projects. Birmingham, Uk: Packt Publishing, 2018. 365 p.

SERRANO, T. M. Introdução ao Blynk App. **Embarcados**, 8 de maio de 2018. Disponível em: <https://www.embarcados.com.br/introducao-ao-blynk-app/>. Acesso em: 22 maio 2021.

STEVAN JUNIOR, Sergio Luiz. **IoT Internet das coisas**: fundamentos e aplicações em arduino e nodemcu. São Paulo: Saraiva, 2018. 224 p.

18

ESTUDO DE MONITORAMENTO AUTOMATIZADO DE VARIÁVEIS DE MANUFATURA DE PRODUTOS CUSTOMIZADOS

Adriano Leite Evangelista

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo sintetiza o trabalho de conclusão de curso de Evangelista (2022), que estudou um sistema de coleta de informações de fabricação de produtos altamente customizados, de forma automática.

Os apontamentos de produção são uma das atividades fundamentais para a gestão industrial de empresas eficientes. Entretanto, à medida que cresce a complexidade dos processos da empresa, aumenta o fluxo de dados e a necessidade de recursos, mão de obra, tempo e infraestrutura, a fim de medir corretamente os resultados, a partir desses apontamentos. Esse tipo de tarefa tende a ser extremamente repetitiva e de baixa necessidade de qualificação. Além de ser altamente suscetível a erros humanos durante as etapas extração, compilação e transferência de dados. Em outras palavras, não agrega valor à cadeia dos produtos (Santos, 2020).

O assunto custos, independente de qual valor ou tipo de negócio, é algo que toda a empresa deseja reduzir. É fundamental que a empresa tenha os seus custos definidos de forma rápida e com menor probabilidade de erro, pois é a partir deles que muitas decisões podem ser tomadas. Garantindo uma informação assertiva, as estratégias estarão mais próximas de obter sucesso e alcançar o resultado desejado.

Ao contrário disso, pode ocasionar grandes resultados negativos a empresa (Souza *et al.*, 2019).

As variáveis de produção compõem o custo dos produtos, dentre elas estão os tempos de produção em cada máquina, insumos utilizados no produto, fluxo de processos

utilizados, tempos de espera em cada processo, gargalos e localização do produto. Em que podem ocorrer diversos tipos de erros de apontamentos, interferindo diretamente no custeio do produto ou serviço.

Para compreender uma das motivações de implementar a tecnologia para diminuir a incidência da interferência humana, diminuindo o custo por não haver a necessidade de ter um apontador e com isso aumentar a probabilidade de a informação chegar de maneira correta, para realizar as análises com bases nos dados coletados, é necessário conhecer algumas definições no que diz respeito a confiabilidade humana. A confiabilidade pode ser definida como a probabilidade de que uma pessoa não falhe no cumprimento de suas atividades, quando submetida em um determinado período, nas condições necessárias para executá-las, como ambiente e recursos necessários para realizar a atividade conforme relata Silva *et al.* (2017).

Aplicada em vários segmentos da indústria, a confiabilidade humana analisa os impactos dos possíveis erros sobre a produtividade, qualidade e segurança, além de traçar estratégias para prevenir, mitigar ou até mesmo eliminar tais erros. No escopo dos erros humanos, convém distinguir ao menos três categorias de erros: os erros induzidos pela situação em que é analisado o contexto, podendo ser classificado como uma ação involuntária, não caracterizada como erro ou uma ação espontânea chamada de erro induzido; erros superficiais decorrentes de ações não intencionais chamadas de lapsos ou deslizos; e os erros profundos decorrentes de ações intencionais denominadas como equívocos (Silva *et al.*, 2017).

O mercado busca novas tecnologias capazes diminuir a incidência da interferência humana. Uma das formas de comunicação que pode ser utilizada entre o colaborador e a interface serial, é através de cartões identificáveis por rádio frequência (RFID), em que as informações são coletadas autonomamente e pode ser integrado com dispositivos de Internet das Coisas (IoT), dispondo as informações em nuvem.

No processo de algumas empresas, as contagens de produtos e de paradas de máquina de cada etapa da linha de produção, são realizadas pontualmente e seus registros são realizados de forma manual, pelos operadores da linha de produção. Os apontamentos são checados visualmente nas fichas de apontamento de cada máquina, exigindo do colaborador a disponibilidade para fornecer as informações para a interface serial ou outro tipo de forma para apresentar os indicadores (Oliveira, 2019).

Conforme Santos (2020), os apontamentos de produção são um dos conjuntos de dados mais importantes para o controle fabril. Saber quais atividades de produção foram realizadas, quais as datas e horários de término e as quantidades produzidas.

A coleta destes dados em ambientes de produção em lotes ou com grandes volumes de produção, são realizadas durante a operação ou ao término dela. Os apontamentos de produção também são importantes para produção em baixa escala. Por se tratar de produtos customizados, muitas vezes se tratando de lotes piloto, a incidência da interferência humana nas previsões de tempos de fabricação, fluxo de processos e insumos utilizados é significativa. Tão importantes quanto prever todas as variáveis do processo é ter uma probabilidade maior de acerto, para saber se as variáveis de produção foram alcançadas conforme o previsto, a fim de ter as melhores tomadas de decisões em tempo hábil, para maximizar os ganhos financeiros.

Segundo Souza *et al.* (2019), frequentemente os gestores e executivos tratam do assunto de custos em suas reuniões, com base nas informações das variáveis de produção disponibilizadas que são calculados os custos dos produtos e verificado qual etapa do processo lhe causa maior desembolso.

Segundo Sanches (2018), os requisitos de produção podem mudar rapidamente. Sendo assim, informações disponibilizadas de forma ágil podem otimizar o gerenciamento das operações e resolver os problemas operacionais, de forma antecipada. Contando com os atuais níveis de automação em um sistema de manufatura e juntamente com a Internet das Coisas (IoT). A extração de informações de processo é possível e uma prática comum na indústria. Se pode usar essa informação para análise de desempenho do sistema de manufatura.

Dada a variabilidade em um Sistema Flexível de Manufatura (*Flexible Manufacturing System – FMS*), associada com a fabricação de peças diferentes em vários processos, a gestão do cronograma de produção e a capacidade de medição da produção e da eficiência global (*Overall Equipment Effectiveness - OEE*) das máquinas podem ser desafiadores.

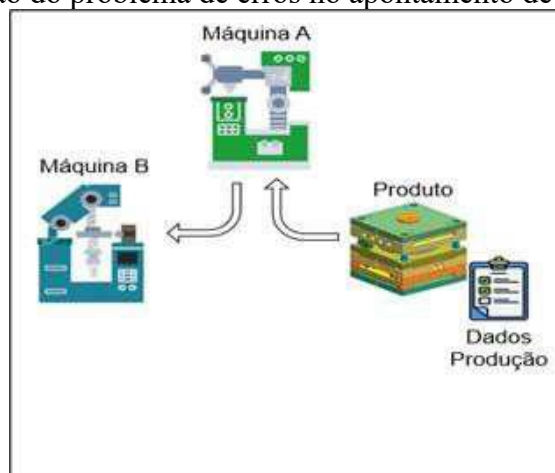
Dependendo da configuração do FMS, as peças podem ter caminhos de produção diferentes. Recentemente, através do uso de Identificador por Rádio frequência (RFID), informações sobre a peça e os processos de produção necessários puderam ser incorporados em uma etiqueta, que se movimenta com a peça.

O processo de usinagem dos produtos customizados em baixa escala, agrega um alto valor aos produtos fabricados, se comparados com a produção em grande escala. Por

muitas vezes, os produtos customizados são oriundos de uma demanda de prototipagem, não havendo um histórico de fabricação ou solicitações repetitivas, gerando o tempo entre uma fabricação e outra muito grande. Ou até mesmo sendo fabricado uma única vez. O que eleva a importância da assertividade de cada apontamento, por não haver a absorção de erros que ocorre na produção de alta escala.

Com o objetivo de automatizar os apontamentos de tempos de fabricação em máquinas, este trabalho focou como hipótese de solução a inserção de tempos de fabricação entre máquina e interface serial de forma automatizada. Cada ordem de produção gera uma etiqueta TAG, que armazenará as informações através da comunicação RFID entre máquina e etiqueta, podendo ser realizada a leitura dos dados ao final da operação. Isso pode ser percebido na Figura 18.1 que apresenta a estrutura desta hipótese.

Figura 18.1 – Processo de coleta de dados de manufatura pela própria peça, como hipótese de solução do problema de erros no apontamento de tempos e processos



Fonte: Autor (2022).

A importância da gestão por processos para o enaltecimento de empresas, proporciona ganho na qualidade final do produto, eficácia e produtividade nas empresas. Aferindo de modo a minimizar o tempo de resposta do processo, evitando desperdício de tempo e garantindo que a informação chegue sem distorção, proporcionando um emolumento à organização (Moura, 2019).

Baseado nisso, este trabalho tem como objetivo demonstrar uma solução baseada na indústria 4.0. Automatizando a coleta da variável de produção, através da tecnologia RFID, diminuindo incidência da interferência humana nesta coleta, tornando os dados de

tempo de apontamento mais rápida e autônoma, se comparada com os apontamentos realizados com preenchimentos, manuscritos em fichas de apontamentos.

Desta forma, o objetivo geral do trabalho se resume em automatizar o processo de coleta de dados de produção, para processos em baixa escala ou produtos customizados de alto valor agregado.

E para o alcance deste objetivo, deverão ser alcançados os seguintes objetivos específicos, definidos na forma de atividades a serem realizadas, que se somam e contribuem para o objetivo geral:

- a) pesquisar as variáveis de processo pertinentes a manufaturas customizadas;
- b) pesquisar métodos disponíveis para coleta de dados de produção customizadas;
- c) definir um método a ser utilizado;
- d) implementar o dispositivo de coleta de dados nas máquinas;
- e) implementar o dispositivo de coleta de dados no produto;
- f) implementar a comunicação entre o dispositivo do produto e máquinas;
- g) desenvolver a forma de exibição dos dados do produto;
- h) coletar os dados de funcionamento do sistema automatizado;
- i) analisar os resultados;
- j) publicar monografia do trabalho de conclusão de curso, de forma a divulgar publicamente os resultados.

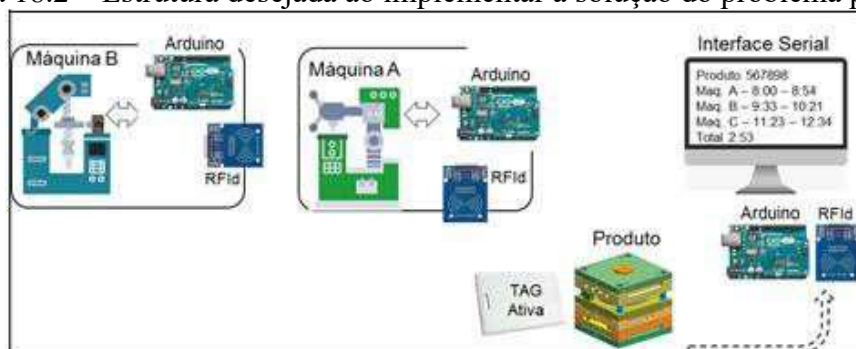
Nesse trabalho o objetivo é automatizar o processo e coleta de dados e apontamentos de produção em produtos produzidos em baixa escala, com alto valor agregado. Se pode citar entre os produtos que se caracterizam desta forma como: produtos customizados, protótipos e fabricação de lotes piloto.

As variáveis pertinentes aos produtos customizados tratados neste trabalho são: tempos de produção em cada máquina, insumos utilizados em cada produto, fluxo de processos utilizados, tempos de espera em cada processo, gargalos e localização do produto com base na última leitura. Essas variáveis de produção foram definidas conforme uma entrevista informal com os apontadores de empresas da área metalmeccânica.

Para realizar a coleta de dados, será utilizado a tecnologia por rádio frequência com módulos RFID, integrado com o módulo IoT com internet das coisas. Conforme relata Sanches (2018), através do uso do RFID, informações sobre a peça e os processos de produção necessários puderam ser incorporados em uma etiqueta, que se movimenta com a peça.

A incorporação de informações de peças e processos na etiqueta de RFId, permite um novo nível de interação, que é combinado com as informações do processo. Ao final de cada processo se espera verificar cada variável em uma interface serial, para realizar o tratamento dos dados e conseguir tomar as decisões com base nos dados coletados. A Figura 18.2 apresenta a estrutura que se deseja obter com o alcance dos objetivos definidos.

Figura 18.2 – Estrutura desejada ao implementar a solução do problema proposto



Fonte: Autor (2022).

Os resultados esperados podem ser sintetizados como:

- a) dados de processos com maior probabilidade de estarem corretos;
- b) maior agilidade na formação do custo final do produto;
- c) método capaz de motivar sua implementação em processo produtivo real.

As variáveis de produção são de suma importância para medir a eficiência do processo produtivo, identificar os insumos de um sistema de manufatura e assim planejar a produção, permitindo obter informações sobre o fluxo de trabalho e eficiência da linha de produção, identificando estações com maior incidência de problemas, melhorando a organização da linha, controlar a operação e qualidade do produto e por fim sua eficiência.

E aqui se destaca o OEE, que é uma abreviação do termo *Overall Equipment Effectiveness*, que em tradução livre significa, Eficiência Global do Equipamento. Introduzido por Seiichi Nakajima, tornando-se fundamental para avaliar a performance dos equipamentos em diversos ramos, inclusive a indústria metalúrgica. Uma das razões que tornaram o indicador OEE tão difundido nas empresas é a capacidade de demonstrar a efetividade de um equipamento de forma simples e direta, diretamente ligada a produtividade, desempenho e qualidade. O indicador leva em consideração as peças boas produzidas e a capacidade de produção, fornecendo o percentual de efetividade medida (Vince Tecnologia, 2021).

O OEE indica quanto tempo o equipamento efetivamente produziu o produto desejado com relação ao tempo de capacidade de produção. Os gestores podem analisar as informações disponibilizadas para tomadas de decisões, medindo seus processos através dessa ferramenta.

O apontamento de produção entrega as informações necessárias para fazer uma apuração de custos reais de cada produto fabricado. Isso porque se deve ter em mãos quais materiais foram consumidos, quais operações foram realizadas e quantas falhas ocorreram. Lembrando que os custos de produção são materiais diretos, mão de obra direta e custos indiretos de fabricação, com a movimentação precisa dos materiais, há o primeiro item. E com os tempos de produção reais, é possível apurar os custos com a mão de obra direta e custos indiretos de fabricação (Leão, 2022).

Os benefícios de um apontamento de produção bem implantado são muitos, tanto diretamente quanto indiretamente, já que é um procedimento que afeta a tomada de decisão de diversos setores da indústria. Entre os diversos benefícios, é possível citar que conhecer os tempos reais de produção e os custos reais de fabricação de seus produtos estão entre eles. Além de localizar ordens de produção e pedidos de venda no chão de fábrica com facilidade, saber o que está acontecendo em cada máquina e com isso ter a possibilidade de tomada de ação imediata para corrigir problemas, obter total controle sobre a produção diária informada, aumentar a produtividade de máquinas e analisando os motivos mais comuns de parada (Leão, 2022).

O OEE só é possível ser determinado quando se tem os dados de produção. Nesta proposta de realização de apontamento automático de tais dados, será utilizado etiquetas de RFID, que armazenarão os dados de cada processo a que a peça é submetida, acompanhando-a fisicamente durante seu ciclo de manufatura.

O leitor RFID é baseado no chip MFRC522 da empresa NXP. É altamente utilizado em comunicação sem contato, a uma frequência de 13,56MHz. Este chip, de baixo consumo e pequeno tamanho, permite sem contato ler e escrever em cartões, que seguem o padrão *Mifare*, altamente utilizado em comunicação sem contato. As TAGs³⁰, podem conter vários dados e o cartão possui um número de identificação (UID) pré-gravado e memória de 1kB para armazenar dados (Módulo Eletrônica, 2019). A Figura 18.3 apresenta um cartão RFID *Mifare*.

³⁰ TAG é uma palavra originada do inglês e significa etiquetas ou cartões. São utilizadas para identificar produtos, arquivos, entre outras.

Figura 18.3 – Cartão RFId *Mifare* com seu espaço de armazenamento de dados



Espaço de armazenamento	Setores	Blocos / Setor
1 kB	16	4
2 kB	32	4
4 kB	40	4 e 16

Fonte: Módulo Eletrônica (2019).

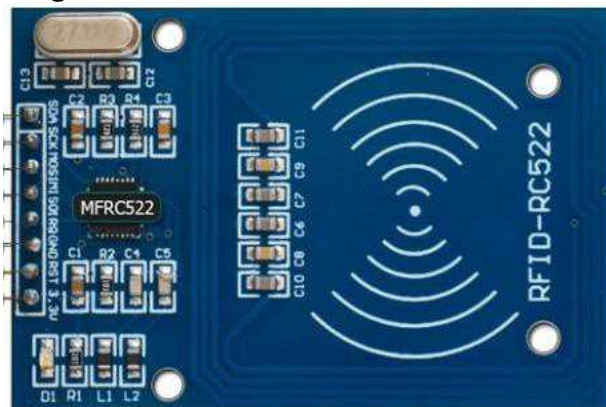
O chip RFId contém a interface de rádio frequência e vários blocos funcionais, que captam as informações de uma distância de até 10cm. As capacidades de memória mais comuns dos sistemas Mifare são de 1.000 bytes (1kB), 2.000 bytes (2kB) e 4.000 bytes (4kB) e tem uma organização própria.

As memórias de 1kB contêm 16 setores, sendo 4 blocos por setor. As memórias de 2kB são compostos por 32 setores, onde cada setor é composto por 4 blocos. Por sua vez, as memórias de 4kB são divididas em 40 setores, alguns com 4 blocos e outros com 16 blocos.

O primeiro bloco do primeiro setor é reservado para armazenar informações do fabricante. Cada cartão ou chaveiro RFId *Mifare* tem a sua identificação única, podendo ser de 4 ou 7 bytes, e não pode ser modificada (Robocore, 2022). Os três primeiros blocos de cada setor (0, 1 e 2) são para armazenamento de dados, com exceção do bloco 0 do setor 0. O último bloco de cada setor é chamado de “*Sector Trailer*” e armazena as chaves de acesso (Key A e Key B) aos demais blocos daquele setor. Além das condições de acesso de cada bloco de cada setor específico (Módulo Eletrônica, 2019).

O módulo leitor de RFId MFRC522 estabelece a comunicação com uma frequência de 13,56 MHz, permitindo a leitura e escrita sem contato, em cartões que seguem o padrão *Mifare*, alimentado com 3,3 Volts do módulo controlador Arduino. A Figura 18.4 apresenta este módulo.

Figura 18.4 – Módulo leitor RFId MFRC522



Fonte: Módulo Eletrônica (2019).

A comunicação entre o módulo Arduino e o MFRC522 é realizada através do protocolo de comunicação serial síncrona, em que os bits são enviados através de um único fio, também chamado de linha de dados, e se utiliza um sinal de *Clock*, relação mestre/escravo. O mestre é o dispositivo controlador que no presente trabalho é o microcontrolador Arduino, enquanto o escravo também chamado de *slave*, geralmente um sensor, *display* ou memória, recebe instruções do microcontrolador (Robocore, 2022). A velocidade de transmissão pode chegar no máximo a 10 Mbps (megabits por segundo).

Os sistemas de rastreamento de objetos, objetivam visualizar objetos em movimento ou durante um intervalo de tempo de interesse, armazenando um conjunto de informações sobre eventos ou acontecimentos com sua respectiva data e localização, para uma base de dados. Sistemas de controle operacional e execução de tarefas utilizam da comunicação RFId entre equipamentos, como microcontroladores e produtos na linha de produção, para tomadas de decisões e execução de tarefas, de acordo com o produto em produção.

2 METODOLOGIA

Os custos de fabricação é o valor dos recursos utilizados para a produção de um bem de uma organização. Alguns exemplos são: mão de obra, matéria-prima, máquinas, equipamentos, entre outros. Há diferença entre gastos e custos de fabricação, visto que o gasto é o valor do recurso adquirido e o custo é o valor do recurso efetivamente utilizado na fabricação do produto (Souza *et al.*, 2019). No presente trabalho é estudado o sistema

de coleta de variáveis de produção como: tempos de fabricação, tempos de espera, fluxo de processos e insumos utilizados durante o processo produtivo.

O projeto proposto tem como objetivo utilizar tecnologias presente na área de automação, para tornar os dados coletados durante o processo produtivo com uma probabilidade maior de acerto. Nos processos produtivos em larga escala, as variáveis são bem definidas por processos robustos e normalizados, em que o objetivo é manter a padronização dos processos com variáveis semelhantes, entre uma peça e outra, ou entre um processo e outro. Já que no momento do *tryout*³¹ da produção em lote piloto, os tempos de fabricação são cronometrados e os insumos são calculados para serem utilizados somente o necessário dos recursos disponibilizados.

Porém, para produção em baixa escala, produtos customizados e protótipos de alto valor agregado, são processos em que os apontamentos das variáveis são menos confiáveis, por haver Incidência humana nesta definição e muitas vezes não possuindo um histórico de fabricação, para servir como comparativo de possíveis melhorias.

O tipo de apontamento implementado para a realização dos procedimentos é o apontamento retroativo, pois os dados apontados serão coletados após a etapa de fabricação ser concluída.

O tipo de pesquisa proposta é de uma simulação de um artefato, sem a obrigação de testar em condições controladas. Utilizando este tipo de pesquisa se tem o objetivo de realizar uma investigação minuciosa, com o propósito de descrever e analisar a situação de coletar dados de produção, durante a simulação do artefato. O método adotado é de simulação, determinando um objeto de estudo, de forma a selecionar as variáveis pertinentes ao modo de custeio, possíveis de serem medidas através de uma prova de conceito.

A pesquisa de laboratório para implementação de uma prova de conceito, para coleta de dados de produção automatizados, que utiliza a tecnologia de transmissão por rádio frequência (RFID), pode ser utilizada em diversas áreas de atuação.

Segundo Fabricio (2018), é possível realizar acompanhamento com maior rapidez do estado de operação das máquinas monitoradas, coletando tempos de operação das máquinas, permitindo a realização da gestão de operação desses equipamentos e a

³¹ A palavra *tryout* foi importada da língua inglesa para uso em algumas situações consideradas técnicas e se traduz como experimentar ou testar. No caso relacionado à ferramentaria, se considera o termo, como a execução de um teste prático de um ferramental (Moldes Injeção Plástico, 2022).

detecção antecipada de desvios operacionais, assim como de falhas ou tempos de máquina parada.

O universo de abrangência da pesquisa de coleta de variáveis de produção para apontamentos, pode ser ampliado para outras áreas da indústria e não somente a metalúrgica. Visto que em diversas áreas fabris são necessários a realização dos apontamentos das variáveis de produção, como por exemplo a indústria de produtos químicos. As áreas de prestação de serviços também pode ser um nicho de mercado a ser considerado. Os apontamentos realizados de maneira correta permitem o custeio dos serviços prestados de forma mais real, já que as variáveis de tempos de duração e insumos utilizados compõe o seu custeio.

Apontamento de produção é o processo de registrar todas as etapas que um produto percorre na linha de produção. Além do registro do início e fim da produção, o apontamento também permite registrar ocorrências indesejadas. Ele serve para rastrear onde o produto está e para identificar falhas, desperdícios e gargalos no processo fabril (Leão, 2021).

O presente trabalho será desenvolvido de tal forma que os métodos aplicados, quando somados, resultem nos objetivos almeçados. Conhecer o processo de manufatura a ser estudado é de suma importância.

Neste sentido é realizada as pesquisas para identificar os parâmetros de produção nos quais se deseja medir, constatando que serão apontados os tempos de manufaturas demandados para a fabricação de um determinado item, cadastrado na etiqueta TAG através de uma ordem de serviço.

Segundo Monteiro (2021), os apontamentos retroativos são realizados de forma manual, onde as máquinas recebem as fichas de produção e estas são coletadas com uma frequência determinada, podendo ser com intervalo de um dia ou turno. As informações apontadas nas fichas são digitadas para planilhas e/ou sistemas.

O Apontamento retroativo pode atrasar medidas corretivas, caso os dados coletados sejam tratados em uma lacuna de tempo muito grande. E é inviável prever atrasos na entrega de uma determinada ordem ou operação com rapidez.

Um ponto negativo das fichas preenchidas manualmente é que somente depois de todos os registros das fichas de produção serem passados para as planilhas ou sistema, fato que pode levar um tempo considerável, pois depende da disponibilidade da área de apoio, é que a empresa poderá analisar os desvios ocorridos (Monteiro, 2021).

O método proposto neste trabalho indica 4 fases:

- a) fase 1 - definição das variáveis de processo pertinentes a manufatura desejada: neste momento são definidas quais variáveis de processo que a máquina de manufatura está executando, que são pertinentes para formação dos dados finais do produto. As variáveis de produção foram definidas conforme uma entrevista informal com os apontadores de empresas da área metalmeccânica e com base no artigo com título Apontamento de Produção, de Thiago Leão. Tais variáveis como tempo de máquina ligada, tempo de máquina a disposição da peça, data e hora de chegada do produto na máquina, quantidade de energia utilizada no processo deste produto, entre outros;
- b) fase 2 – definição da técnica de coleta dos dados nas máquinas: esta fase se busca uma tecnologia que possa ser embarcada no produto, a fim de acompanhá-lo em todo o processo, capaz de trocar informações com o módulo microcontrolador de coleta de dados automatizados, que cada máquina irá possuir, e trocar informações com o dispositivo de exibição geral dos dados de processo, a que o produto foi submetido;
- c) fase 3 – implementação da leitura de sinais das variáveis de processo das máquinas: uma vez definido os sinais e a forma com que serão coletados da máquina de manufatura, então se deve proceder a implementação dos dispositivos de comunicação entre o módulo microcontrolador de gestão do sistema de coleta e a máquina. Esta fase tem uma relação direta com a tecnologia que a máquina de manufatura possui, pois os dados podem ser coletados por redes industriais ou interface elétrica digital, com uso de relés para este fim;
- d) fase 4 -implementação da exibição dos dados de processo, que representam a manufatura do produto: esta é a interface com o usuário, onde o produto é cadastrado e monitorado, através de seu dispositivo de coleta de dados, embarcado no produto, podendo esta interface gerar tabelas, gráficos e analisar situações anômalas ao processo previamente definido.

A Figura 18.5 apresenta o método proposto para coleta automatizada de dados do processo de manufatura de um produto, com suas 4 fases.

Figura 18.5 – Método proposto para coleta automatizada de dados do processo de manufatura de um produto e suas fases em diagrama de blocos



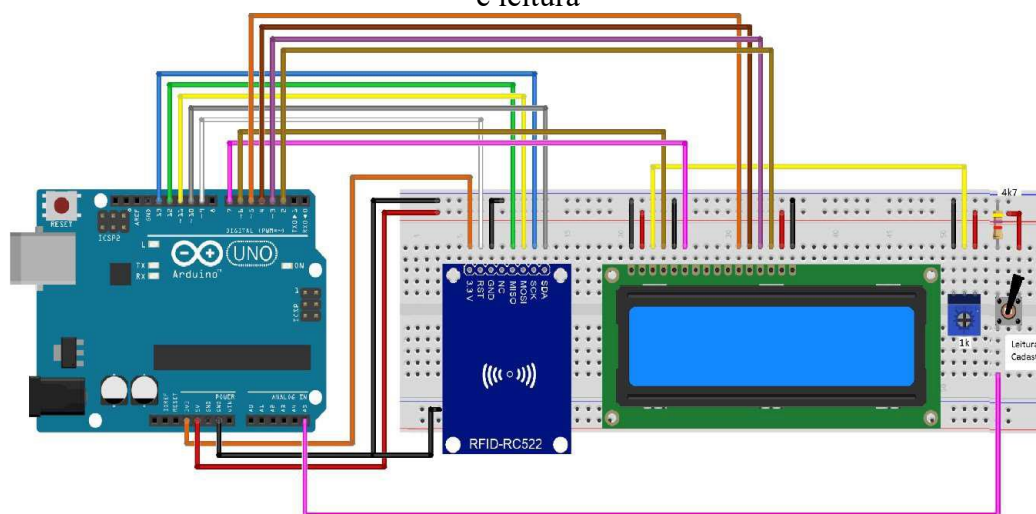
Fonte: Autor (2022).

Como proposta de coleta de dados fabris automatizada, é desenvolvida uma prova de conceito com o módulo microcontrolador Arduino UNO conectado a um leitor RFID. No estudo é simulado um artefato composto por uma fresadora e uma furadeira, em que a TAG ativa do produto é cadastrada previamente como uma ordem de serviço, contendo informações para identificar qual produto se deseja fabricar.

As ordens de serviços são inseridas nas TAG ativa através do cadastramento. É a primeira operação a ser realizada no processo de apontamento. A partir desse primeiro passo, o produto estará liberado para iniciar o processo de fabricação nas máquinas.

O diagrama de montagem do protótipo, com a função de cadastramento da etiqueta TAG como ordem de serviço, com o objetivo de identificá-la, é mostrada na Figura 18.6.

Figura 18.6 - Diagrama de montagem da prova de conceito para a operação de cadastro e leitura



Fonte: Autor (2022).

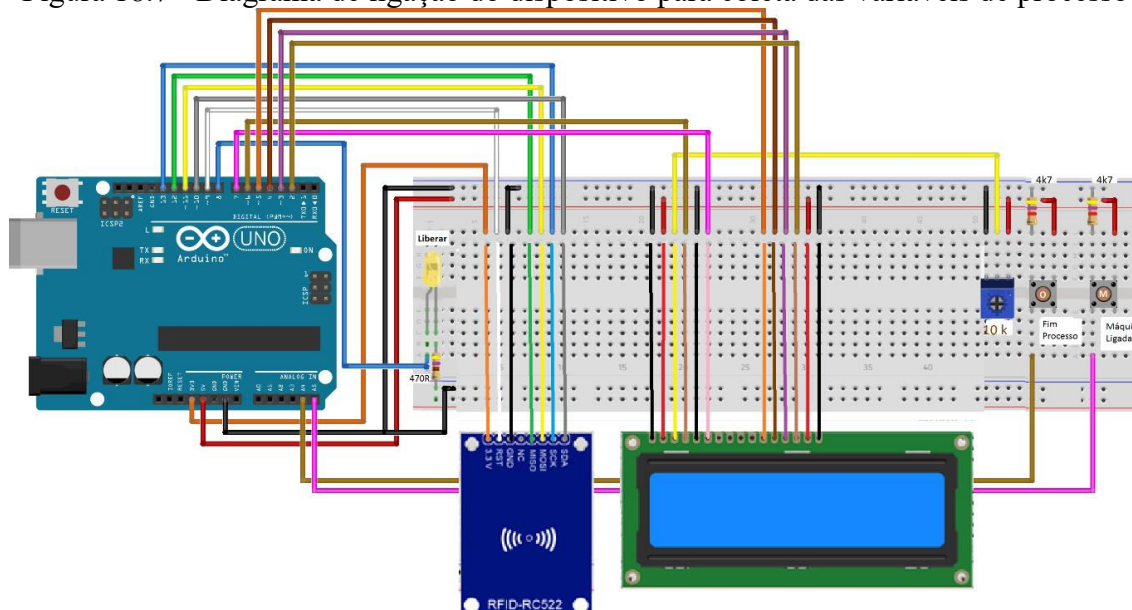
Com as etiquetas devidamente cadastradas, pode-se dar início ao processo de fabricação propriamente dito, onde o operador deve aproximar a etiqueta TAG do módulo leitor RFID MFRC522, localizado no painel de cada máquina. O sistema de coleta de dados identifica a etiqueta, liberando o início da operação na estação de trabalho, que é indicado através de um LED que se ilumina, indicando que a máquina está liberada para iniciar a operação. O tempo de produção é iniciado a partir do momento que a etiqueta é aproximada do leitor.

Outro recurso, disponibilizado pelo sistema, é a indicação do tempo de máquina ligada. Essa informação de suma importância para gerar indicadores de tempos necessários para a realização da preparação das máquinas, como *setup* do modo de fixação do produto, *preset* de ferramentas, alinhamentos da peça na máquina, ponto zero para referência na usinagem, entre outras operações necessárias para o início do ciclo.

Ao final da operação, o operador deve indicar através de um botão que o processo foi concluído e liberado para a próxima máquina. O LED se desligará e a TAG estará liberada para seguir o fluxo do restante das operações, repetindo o processo quantas vezes forem necessárias, para que o produto seja concluído.

O diagrama de ligação da prova de conceito, localizado em cada máquina está ilustrado na Figura 18.7.

Figura 18.7 - Diagrama de ligação do dispositivo para coleta das variáveis de processo

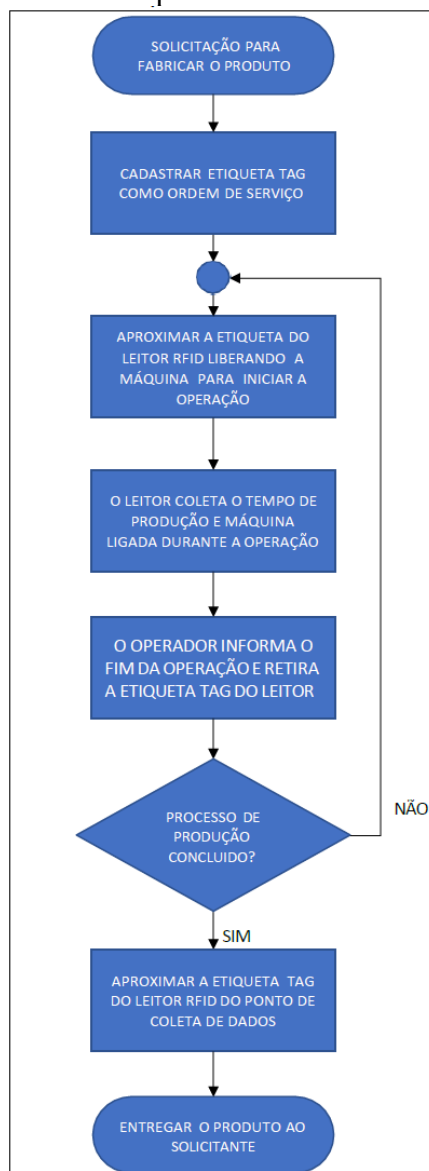


Fonte: Autor (2022).

Para concluir o processo de apontamento, a etiqueta TAG deve ser lida no terminal de leitura de dados. Nesse terminal a etiqueta fornece todos os dados coletados anteriormente, que sejam pertinentes para a área de apoio editar os indicadores, gráficos e *dashboards*.

O dispositivo de coleta de dados é o mesmo utilizado para cadastro, conforme já ilustrado. A área de apoio seleciona os dados que julgarem importantes para facilitar as tomadas de decisões, para otimizar o processo produtivo. A Figura 18.8 apresenta o fluxograma de operação desejada para o sistema de apontamento de variáveis de processo automatizada.

Figura 18.8 – Fluxograma de operação desejada para o sistema de apontamento de variáveis de processo automatizada



Fonte: Autor (2022).

3 RESULTADOS E ANÁLISE

O método proposto neste trabalho foi implementado em uma simulação de um artefato, seguindo todas as suas fases.

Na fase 1, definição das variáveis de processo pertinentes a manufatura desejada, foram definidas as variáveis para simulação do artefato, com base em entrevistas informais com apontadores, sendo elas coletadas de forma aleatória:

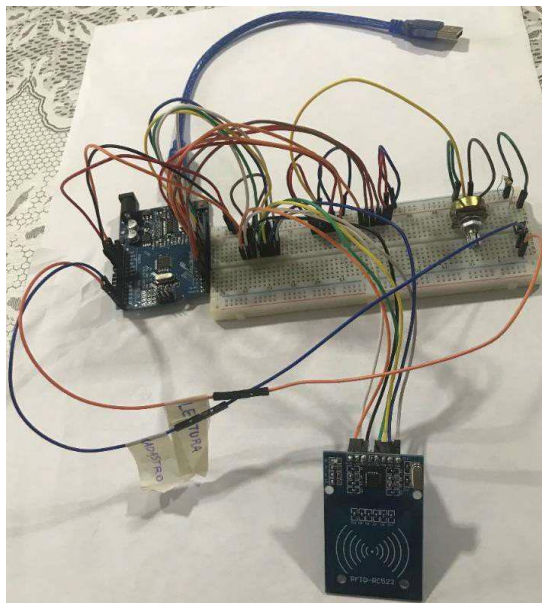
- a) tempo de máquina ligada no processo;
- b) tempo de máquina em operação em cada processo;
- c) data e hora de início e fim de cada processo;
- d) insumos utilizados em cada operação, para realizar a gestão de estoque;
- e) tempos de espera para o produto seguir para a próxima operação;
- f) fluxo de processo e localização do produto.

A fase 2, definição da técnica de coleta dos dados nas máquinas, foi utilizado um módulo leitor de RFId MCR522, conectado a um módulo microcontrolador Arduino UNO, onde os dados de processo são armazenados em cartões RFId *Mifare*, que acompanham o produto a cada processo submetido.

A fase 3 – implementação da leitura de sinais das variáveis de processo das máquinas, foi implementada através de uma simulação dos sinais de uma máquina de manufatura, sendo monitoradas e comandadas por um módulo microcontrolador Arduino.

A fase 4, implementação da exibição dos dados de processo que representam a manufatura do produto, foi implementada através de um sistema de coleta de dados em RFId do cartão *Mifare*, através de módulo leitor MCR522, conectado a um módulo microcontrolador Arduino, que monitora os dados de processo do cartão e exibe em um monitor serial, conectado através da porta serial de um computador. Nesta fase também é realizado o cadastro do produto no cartão RFId.

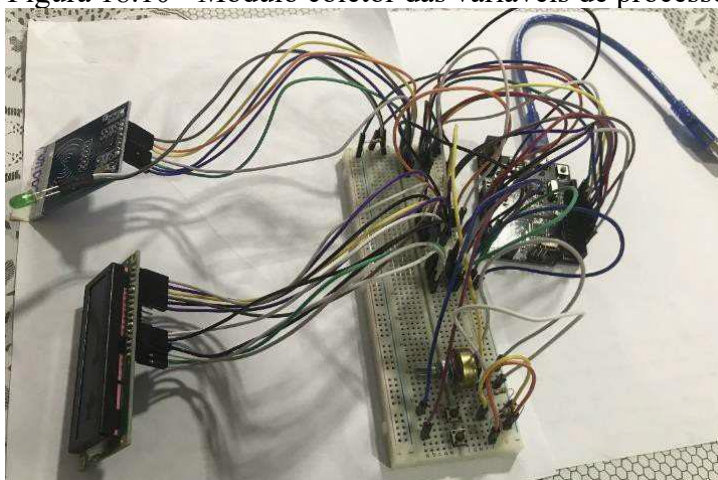
A Figura 18.9 demonstra este módulo com os componentes eletrônicos, sem o case de proteção, sendo possível observar como foram realizadas as ligações entre os módulos MCR522 e o microcontrolador.

Figura 18.9 - Módulo de cadastro e leitura dos cartões RfId *Mifare*

Fonte: Autor (2022).

Em cada máquina da simulação do artefato, será instalado um módulo para realizar a coleta dos dados pertinentes à análise do processo produtivo. Nessa etapa é possível observar no *display* LCD o estado em que a máquina se encontra. Estando liberada, o operador deve aproximar a etiqueta TAG do leitor RfId, em que o LED se iluminará e aparecerá na tela do *display* a mensagem que chegou um produto para iniciar a operação. O potenciômetro foi implantado para ajustar a luminosidade do *display* e os botões para sinalizar o estado de máquina ligada e fim de tarefa. A Figura 18.10 mostra o módulo coletor das variáveis de processo instalada em cada máquina.

Figura 18.10 - Módulo coletor das variáveis de processo



Fonte: Autor (2022).

Uma vez implementado o método e obtendo a prova de conceito, se realizou a simulação do artefato, com o cenário de um centro de trabalho, composto por duas máquinas denominadas FRE001 e FUR005, além de um posto de cadastramento e leitura das informações contidas nos cartões *Mifare*.

No cenário será realizado a simulação da fabricação de 3 produtos denominados de LOTE 1, LOTE 2 e LOTE 3, devidamente cadastrados em seus respectivos cartões *Mifare*. Os cartões passarão em todas as máquinas e posto de cadastramento e leitura das informações, coletadas das variáveis aleatórias durante o processo produtivo. Na Figura 18.11 está montado o centro de trabalho no cenário completo, de como foi simulado o artefato.

Figura 18.11 - Centro de trabalho utilizado para simular o artefato



Fonte: Autor (2022).

Para cadastramento, o operador aproxima o cartão *Mifare* do leitor RFID, aparecendo no monitor serial a condição de funcionamento. O terminal operando como cadastro ou leitura, irá solicitar que seja digitado o nome do produto, com no máximo 16 caracteres, seguido pelo caractere “#”. Conforme demonstrado pela Figura 18.12, em que foi realizado o cadastramento do produto LOTE 3.

Figura 18.12 - Cadastro do produto LOTE 3 no terminal de cadastro do produto

```

LOTE 3#|
12:09:07.474 -> TERMINAL DE CADASTRO DO PRODUTO
12:09:07.528 -> Aproxime o seu cartao do leitor...
UID do Cartao: 57 22 EE CA - Tipo do PICC: MIFARE 1KB
12:09:36.647 -> Digite o nome do produto + # (maximo 16 caracteres)

```

Fonte: Autor (2022).

Após digitar o nome do produto e pressionar a tecla “enter”, o sistema reconhece o nome digitado e mostra a mensagem de cadastramento concluído, conforme Figura 18.13.

Figura 18.13 - Mensagem de cadastramento concluído

```
Firmware Version: 0x92 = v2.0
12:11:33.298 ->
12:11:33.345 -> *****
12:11:33.398 -> TERMINAL DE CADASTRO DO PRODUTO
12:11:33.398 -> Aproxime o seu cartao do leitor...
UID do Cartao: 57 22 EE CA - Tipo do PICC: MIFARE 1KB
12:11:36.705 -> Digite o nome do produto + # (maximo 16 caracteres)
Produto: LOTE 3
Cadastramento concluido
```

Fonte: Autor (2022).

Com o cartão devidamente cadastrado, o produto pode seguir para a primeira tarefa, em que no cenário de simulação foi escolhida a máquina FRE001. O *display* LCD mostra as informações para guiar o operador durante a tarefa.

Primeiramente, o sistema solicita que o operador aproxime o cartão do leitor. Após aproximar o cartão, o sistema informa que o produto chegou na máquina. Para tornar visível, mesmo estando a uma distância maior da máquina, o LED se ilumina durante o período em que o produto estiver na máquina. Durante a tarefa, o sistema coleta os tempos de máquina ligada e o tempo total da tarefa.

Ao final da tarefa, o operador aperta o botão de fim do processo, na tela aparece a mensagem que o sistema está gravando as informações. O LED se desliga e a mensagem com os tempos são informados no monitor serial.

Por último, o operador retira o cartão, liberando a máquina para o próximo produto. O processo pode ser repetido quantas vezes forem necessárias, até que o produto esteja finalizado, mas que neste estudo foi limitado a 15 operações, face a capacidade de armazenamento do cartão *Mifare* utilizado.

Na Figura 18.14 é possível verificar toda a tarefa realizada, podendo observar a data e hora em que o produto chegou em cada máquina, além da data e hora de todas as vezes em que a máquina foi ligada e desligada. Após o fim da tarefa o sistema fornece o tempo total do processo, tempo total de máquina ligada, a máquina em que a tarefa foi realizada e, por último, solicita a retirada do cartão do leitor.

Figura 18.14 - Interface serial com as informações coletadas durante a tarefa

```

18:54:52.561 -> TERMINAL DA MAQUINA
18:54:52.609 -> Aproxime o seu cartao do leitor...
18:54:52.662 -> 01/04/2022 00:00 - Chegou produto na maquina:
01/04/2022 00:06 - Maquina ligou
01/04/2022 00:13 - Maquina desligou
01/04/2022 00:20 - Maquina ligou
18:55:17.855 -> 01/04/2022 00:21 - Maquina desligou
01/04/2022 00:29 - Maquina ligou
01/04/2022 00:39 - Maquina desligou
01/04/2022 00:42 - Gravando informacoes no cartao
18:55:35.305 -> Tarefa:1 Tempo Total Processo:42min Tempo Total Maquina ligada:17min
18:55:35.395 -> Maquina: FRE001 Tempo Producao Maquina: 42min Tempo Maquina Ligada: 17min
18:55:35.490 -> Data 01/04/2022 Hora Inicio: 00:00 Hora Termino: 00:42
Retire o seu cartao do leitor...
Fonte: Autor (2022).

```

Fica a cargo da equipe de apoio e gestão determinar a periodicidade em que será realizada a leitura dos cartões. Se vai ser realizada após finalizar cada tarefa ou no fim do processo produtivo total. É importante lembrar que quanto mais curto for o prazo entre uma leitura e outra, mais rápido é o tempo de resposta ao processo realizado pela equipe de apoio, com base nas informações coletadas pelo sistema de monitoramento automatizado de variáveis de manufatura de produtos customizados.

A Figura 18.15 apresenta a leitura do cartão após o processo produtivo ser finalizado.

Figura 18.15 - Leitura do cartão referente ao produto LOTE3 após finalizar todo o processo produtivo

```

12:18:29.340 -> TERMINAL DE LEITURA
12:18:29.340 -> Aproxime o seu cartao do leitor...
UID do Cartao: 57 22 EE CA - Tipo do PICC: MIFARE 1KB
12:19:48.434 -> Produto: LOTE3          Tarefas: 3 Tempo Total Producao: 00:52 Tempo Maquina Ligada: 00:37
12:19:48.555 -> Tarefa: 1 Maquina: FRE001 Tempo Producao: 00:20 Tempo Ligada: 00:14 Em: 01/04/2022 Inicio: 01:58 Fim: 02:18
12:19:48.676 -> Tarefa: 2 Maquina: FRE001 Tempo Producao: 00:14 Tempo Ligada: 00:10 Em: 01/04/2022 Inicio: 03:25 Fim: 03:40
12:19:48.796 -> Tarefa: 3 Maquina: FUR005 Tempo Producao: 00:18 Tempo Ligada: 00:13 Em: 01/04/2022 Inicio: 00:03 Fim: 00:21
Fonte: Autor (2022).

```

Se pode observar as informações coletadas durante todo o processo, o número total de tarefas realizadas, o tempo total de produção do processo produtivo completo, tempo total de máquina ligada no processo produtivo completo, a sequência de tarefas realizadas, as máquinas utilizadas durante a fabricação do produto, as datas e horas em que foram realizadas cada tarefa e os tempos de produção e máquina ligada, de cada tarefa realizada.

O Quadro 18.1 apresenta os resultados alcançados com a implementação da prova de conceito para coleta automatizada de dados de produção.

Quadro 18.1 - Resultado de funcionalidades geradas como prova de conceito, comparando a nova funcionalidade e a significância para a produção do produto

Nova funcionalidade	Significância para a produção do produto
Tempo de máquina ligada em cada processo	Possibilita realizar análises de tempo gasto com preparação de máquina, ou seja, tempo de máquina parada, confrontando com o tempo em que a máquina realmente esteve produzindo (máquina ligada).
Tempo de máquina ligada total	Mesma análise realizada na linha anterior, mas analisando o processo como um todo.
Tempo de máquina disponível em cada processo	Analisa se o tempo de disponibilidade da máquina é o suficiente para realizar a tarefa, de acordo com o quadro de funcionários e volume de serviço.
Tempo de máquina disponível total	Com essa informação, é possível analisar se o quadro de funcionários é o ideal.
Sequência de processo utilizada na fabricação do produto	Possibilita verificar se o processo realizado foi satisfatório, com base no fluxo de processo previsto e localização do produto com base na última tarefa realizada.
Fluxo de processos utilizado na fabricação do produto	Análise de possíveis intempéries durante o processo produtivo, como exemplos: retrabalhos, movimentação do produto, entre outras.

Fonte: Autor (2022).

O sistema de monitoramento automatizado de variáveis de manufatura de produtos customizados apresentou um ganho quanto a diminuição da incidência humana no processo de monitoramento das variáveis desejadas.

No Quadro 18.2 é possível verificar o comparativo das funcionalidades dos apontamentos de produção, sendo que na segunda coluna é apresentada a forma de coleta de dados realizadas manualmente, através de fichas de produção. Já na terceira coluna a coleta é realizada através de um sistema automatizado.

Quadro 18.2 - Comparação entre o sistema manual e o sistema automatizado de monitoramento de variáveis de manufatura de produtos customizados

Parâmetro da produção	Coleta Manual	Coleta automatizada
Tempo de máquina ligada em cada processo.	Na coleta manual este parâmetro não é informado.	O tempo de máquina ligada em cada processo é informado através do cartão RFId, de forma automática.
Tempo total de máquina ligada.	Na coleta manual este parâmetro não é informado.	A informação do tempo de máquina ligada em cada processo é informada no cartão RFId.

Continua...

Conclusão.		
Tempo de máquina disponível, em cada processo.	A informação é anotada manualmente pelo operador, informando hora de início e fim da tarefa na ficha.	A informação é disponibilizada de forma automatizada, sem a necessidade de anotações manuais, com dados escritos diretamente no cartão de RfId.
Tempo total de máquina disponível.	A área de apoio realiza o cálculo, com base na hora de início e fim das tarefas anotadas nas fichas.	O cálculo é disponibilizado de forma automatizada, sem necessidade de ação da área de apoio.
Sequência de processos utilizada na fabricação do produto.	A sequência de processos é realizada de forma onerosa, devido ao tempo gasto para conseguir essa informação	É informada a sequência de processos em ordem cronológica, automaticamente no posto de leitura do cartão.
Fluxo de processos na fabricação do produto	A sequência de processos é realizada pelo apontamento do operador, em cada máquina que o produto passou.	O fluxo do processo realizado na fabricação do produto é encontrado em uma única tela, de forma sequencial, exibida pela leitura do cartão RfId, que registou de forma automática.

Fonte: Autor (2022).

A leitura após o processo de fabricação finalizado nos produtos LOTE1 pode ser observado na Figura 18.16.

Figura 18.16 - Leitura do cartão referente ao produto LOTE1, após finalizar todo o processo produtivo

```

12:15:29.187 -> TERMINAL DE LEITURA
12:15:29.187 -> Aproxime o seu cartao do leitor...
UID do Cartao: 4A D4 20 96 - Tipo do PICC: MIFARE 1KB
12:15:42.592 -> Produto: LOTE1          Tarefas: 3 Tempo Total Producao: 01:14 Tempo Maquina Ligada: 01:00
12:15:42.728 -> Tarefa: 1 Maquina: FUR005 Tempo Producao: 00:18 Tempo Ligada: 00:10 Em: 01/04/2022 Inicio: 00:06 Fim: 00:24
12:15:42.829 -> Tarefa: 2 Maquina: FUR005 Tempo Producao: 00:21 Tempo Ligada: 00:14 Em: 01/04/2022 Inicio: 01:25 Fim: 01:47
12:15:42.929 -> Tarefa: 3 Maquina: FRE001 Tempo Producao: 00:35 Tempo Ligada: 00:26 Em: 01/04/2022 Inicio: 00:04 Fim: 00:40

```

Fonte: Autor (2022).

A leitura após o processo de fabricação finalizado no produto LOTE2 pode ser observado na Figura 18.17.

Figura 18.17 - Leitura do cartão referente ao produto LOTE2, após finalizar todo o processo produtivo

```
12:15:45.039 -> TERMINAL DE LEITURA
12:15:45.039 -> Aproxime o seu cartao do leitor...
UID do Cartao: D7 B4 9F E4 - Tipo do PICC: MIFARE 1KB
12:18:27.009 -> Produto: LOTE2          Tarefas: 2 Tempo Total Producao: 00:57 Tempo Maquina Ligada: 00:34
12:18:27.129 -> Tarefa: 1 Maquina: FRE001 Tempo Producao: 00:47 Tempo Ligada: 00:28 Em: 01/04/2022 Inicio: 00:58 Fim: 01:45
12:18:27.250 -> Tarefa: 2 Maquina: FUR005 Tempo Producao: 00:10 Tempo Ligada: 00:06 Em: 00/00/0000 Inicio: 00:00 Fim: 00:00
Fonte: Autor (2022).
```

Todos os dados registrados na Tabela 18.1 foram retirados diretamente do monitor serial de forma aleatória, com menor incidência da interferência humana, se comparado com as informações anotadas manualmente em fichas de produção.

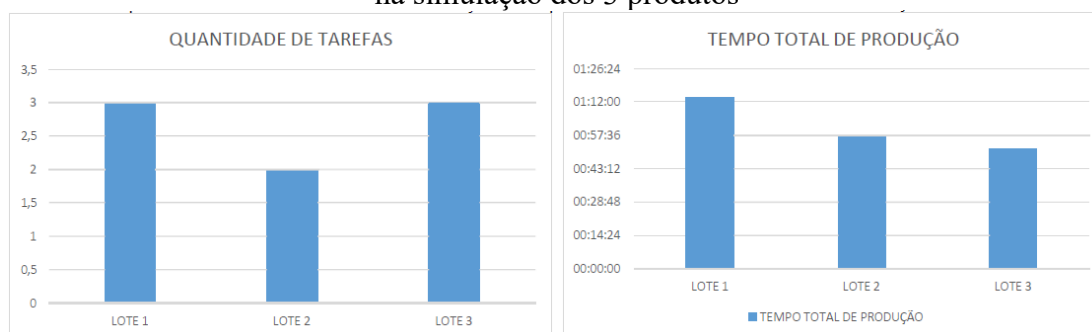
Tabela 18.1 - Comparativo das variáveis de manufatura lidas dos cartões utilizados nos produtos LOTE1, LOTE2 e LOTE3

Produto	Quantidade de tarefas	Tempo total de produção [hh:mm:ss]	Tempo de máquina ligada [hh:mm:ss]
LOTE 1	3	01:14:00	01:00:00
LOTE 2	2	00:57:00	00:34:00
LOTE 3	3	00:52:00	00:37:00

Fonte: Autor (2022).

Com as informações contidas na tabela, foram criados os gráficos para facilitar a visualização das variáveis de produção, extraídas dos cartões *Mifare*, após a conclusão dos 3 processos produtivos, em que foram realizados a simulação das suas manufaturas. Na Figura 18.18 está representado o gráfico comparativo entre a quantidade de tarefas necessárias para a conclusão dos 3 produtos simulados.

Figura 18.18 - Gráfico de quantidade de tarefas realizadas e o tempo total de produção, na simulação dos 3 produtos



Fonte: Autor (2022).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente trabalho foi estudado a simulação de um artefato, sem obrigação de testar para a coleta de dados de produção, de forma aleatória, implementando a prova de conceito e analisando seus resultados com a coleta de dados automatizada.

Com os objetivos de implementar um método que possa coletar as variáveis de produção, pertinentes ao processo produtivo, para cálculo do custo de produção do produto desejado e controle de produção de uma determinada linha de fabricação simulada, composta por duas máquinas, posto de cadastramento e leitura das ordens de serviço, através da etiqueta TAG e leitor RFID.

Os resultados esperados foram atingidos, sendo capaz de realizar a coleta do tempo total de fabricação, tempo de máquina ligada, bem como a data, hora e a máquina que realizou a tarefa.

No caso de simulação do artefato para a fabricação de determinado o produto, a prova de conceito se mostrou eficiente quanto a coleta dos tempos de forma aleatória, mais autonomamente, sendo que o operador tem a necessidade de somente aproximar a etiqueta TAG do leitor, apertar o botão de máquina ligada e de fim de processo.

O operador não necessita calcular os tempos de fabricação, data, hora e máquina em que a tarefa foi executada, diminuindo suas ações para disponibilizar as informações.

Comparando com os apontamentos realizados com fichas de apontamentos manuais, o apontamento realizado de forma automatizada tem a probabilidade maior de a informação chegar corretamente, diminuindo os erros comuns em uma atividade realizada por um ser humano a próprio punho. Pode-se citar os erros de escrita como anotar algum número de forma equivocada ou qualquer outra informação solicitada.

O sistema automatizado também pode proporcionar a diminuição do tempo em que o responsável por analisar as informações leva para disponibilizá-las para a área de apoio, podendo assim estar disponível para realizar outras atividades que eventualmente possam lhe solicitar.

O estudo da prova de conceito foi realizado de forma simulada, não sendo possível implementar em uma empresa, devido a série de restrições que a indústria impõe para divulgar seus processos e informações, muitas vezes sigilosas. Mas o sistema pode ser utilizado em diversos ramos da indústria e prestadores de serviços.

Inicialmente, além do realizado, o trabalho tinha a intenção de coletar dados de insumo demandados por operação e quantidade de energia utilizada, mas não houve tempo hábil para executar esta implementação, focando somente nos dados de tempo e fluxo de processo. Os quais já foram suficientes para evidenciar o atingimento dos objetivos propostos. Fica aqui esta proposta como possibilidade de trabalho futuro, aumentando o número de variáveis de produção a ser coletada em cada máquina.

As considerações finais do projeto para aperfeiçoá-lo vão ao encontro da implementação de IoT, para transformar o método de apontamento de retroativo para apontamento em tempo real, para isso as informações devem ser transmitidas para a nuvem durante a execução da tarefa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

EVANGELISTA, Adriano Leite. **Estudo de monitoramento automatizado de variáveis de manufatura de produtos customizados**. 2022. 56 f. Monografia (Graduação) - Curso de Tecnólogo em Automação Industrial, Universidade Estadual do Rio Grande do Sul - Uergs, Porto Alegre, 2022. Disponível em: <https://repositorio.uergs.edu.br/xmlui/handle/123456789/2353>. Acesso em: 30 jun. 2023.

FABRICIO, M. A. **Monitoramento de equipamentos elétricos industriais utilizando iot**, 2018. Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de Campinas. Campinas, 2018. Disponível em: <http://tede.bibliotecadigital.puc-campinas.edu.br:8080/jspui/handle/tede/1059>. Acesso em: 10 de abr. 2022.

LEÃO, THIAGO. APONTAMENTO DE PRODUÇÃO: O QUE É, QUAL O CONCEITO E COMO FAZER: Nomus Blog Industrial. 2021. Disponível em: <https://www.nomus.com.br/blog-industrial/apontamento-de-producao/>. Acesso em: 29 de abr. 2022.

MÓDULO ELETRÔNICA. **Cartões RFID e o módulo MFRC522**: Blog Módulo eletrônica. 2019. Disponível em: <https://blog.moduloeletronica.com.br/cartoes-rfid-eo-modulo-mfrc522/>. Acesso em: 01 de mai. 2022.

MOLDES INJEÇÃO PLÁSTICOS. **Considerações para tryout ou prova prática de moldes de injeção**. 2022. Disponível em: <http://moldesinjecao plasticos.com.br/consideracoes-para-try-out-ou-prova-pratica-demoldes-de-injecao/>. Acesso em: 17 de mai. 2022.

MONTEIRO, Celso. **5 diferenças entre apontamentos no chão de fábrica e retroativo**. Nomus Blog Industrial. 2021. Disponível em:

<https://www.nomus.com.br/blog-industrial/5-diferencas-entre-o-apontamento-dechao-de-fabrica-em-tempo-real-e-o-retroativo/>. Acesso em: 01 de mai. 2022.

MOURA JUNIOR, A. J. de; REIS FILHO, R. R. Um estudo sobre gestão por processos na produção industrial. **Revista Interface Tecnológica**, [S. l.], v. 16, n. 2, p. 359–370, 2019. Interface Tecnológica. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/index.php/interfacetecnologica/article/view/674>. Acesso em: 17 abr. 2022.

OLIVEIRA, L. K. **Integração das máquinas de uma linha de produção para monitoramento do desempenho do processo**. 2019. Monografia (Especialização) – Universidade tecnológica federal do Paraná. Curitiba, 2019.

ROBOCORE. **Kit RFID MFRC522**: Robocore. 2022. Disponível em: <https://www.robocore.net/rfid/kit-rfid-mfrc522>. Acesso em: 19 de abr. 2022.

SANCHES, H. B. **Monitoramento da produção e da eficiência de processos de manufatura usando RFID e internet das coisas**. 2018. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Baurus, 2018. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/157236>. Acesso em: 25 de mar. 2022.

SANTOS, Frederico M. **Proposta de automatização de apontamentos de produção para plataforma erp usando ferramentas integradoras de manufatura em uma fábrica de celulose**. 2020. Monografia (Especialização). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Especialização em Indústria 4.0. Ponta Grossa, 2020. Disponível em: <http://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/25945/1/propostaautomatizacaoproducaoplataforma.pdf>. Acesso em: 20 de mar. 2022.

SILVA, B. G. de J. *et al.* Confiabilidade humana: uma abordagem atual do erro humano. In: Simpósio de Engenharia de Produção de Sergipe, 9., 2017, São Cristóvão. **Anais eletrônicos**. São Cristóvão: DEPRO/UFS, 2017, p. 405-417. Disponível em: <http://simprod.ufs.br/pagina/21037>. Acesso em: 03 jul. 2022.

SOUZA, John Cesar; COTRIM, Syntia Lemos; LEAL, Gislaine Camila Lapasini; GOMES, Pedro, Galdamez; EDWIN, Vladimir Cardoza. Métodos de custeio: seleção e aplicação em uma empresa do setor metalomecânico. **Revista Exacta**. 2019, 17(4), 344-361. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81066998010>. Acesso em: 20 de mar. 2022.

VINCE TECNOLOGIA, **O que é OEE? Pra que serve? Por que medir o OEE?** Vince Tecnologia. 2022. Disponível em: <https://www.oee.com.br/o-que-e-oee/>. Acesso em: 29 de mai. 2022.

19

ESTUDO DE SISTEMA AUTOMATIZADO PARA CULTIVO HIDROPÔNICO COM LUZ ARTIFICIAL DE BAIXA ESCALA

Carlos Eduardo Gonçalves Peixoto

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo sintetiza o trabalho de conclusão de curso de Carlos Peixoto (2022), ao automatizar o cultivo hidropônico com luz artificial.

Levantamento realizado pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO) em 2017 apontou que, dentre nove pessoas, uma não obteve a alimentação necessária para levar uma vida saudável. Ou seja, cerca de 821 milhões de pessoas não obtiveram uma alimentação de qualidade (FAO, 2018).

Para a próxima década, estima-se o aumento populacional, seguido do crescimento das cidades, além do crescimento no consumo *per capita*³² e as dificuldades do uso da terra, colocarão em questão nossa capacidade de atender as necessidades humanas relacionadas à alimentação. Isto resulta, em um maior impacto quando se trata da busca por alimentos (FAO, 2018).

Conforme estudo realizado pela Organização das Nações Unidas (ONU), no ano de 2018, a densidade demográfica urbana alcançou 4,2 bilhões de pessoas. E essa urbanização junto ao crescimento populacional trará mais de 2,5 bilhões de pessoas aos grandes centros, até 2050 (ONU, 2018).

³² Per Capita é uma palavra original do latim que significa “por cabeça”, normalmente utilizado para expressar o número de rendimento por pessoa ou por cabeça, ou seja, considerando-se membros da população em particular e sua participação na renda total do país, mas que pode ser visto em outras situações para expressar uma unidade (Santiago, 2006).

A cada dia, mais variações climáticas têm trazido enormes perdas à produção e ao cultivo dos alimentos. As secas prolongadas, chuvas intensas, temperaturas elevadas, a carência de água e outros têm contribuído para a escassez dos alimentos (FAO, 2018).

A solução para este problema, segundo Carlet (2020), está no crescimento agrícola, que hoje é limitado devido a disponibilidade de áreas de cultivo serem restritas. Contudo, o Brasil possui uma grande capacidade de crescimento na oferta de alimentos, o que já é uma realidade, diante do cenário mundial.

Para Carlet (2020), como forma alternativa, a hidroponia pode ser a fonte fornecedora de alimentos para o mundo, isso por diversos fatores, dentre eles: o baixo custo dos insumos, utilização de área reduzida para cultivo e uma maior qualidade nutricional dos vegetais. São elementos que contribuem para que este tipo de cultivo obtenha grande competitividade no mercado.

O termo Hidroponia vem da união das palavras gregas “*hydro*”, que significa água, e “*ponos*”, que significa trabalho. Ou seja, “trabalho na água”. Esta técnica tem como principal característica o cultivo de plantas na água, tendo os nutrientes adicionados a ela, sem a utilização do solo (Makishima, 2000).

Fatores que têm contribuído para o aumento desta cultura estão basicamente relacionados aos impactos da agricultura convencional, sendo estes: o uso inadequado da água, as grandes áreas de plantio, a alta carga de fertilizantes, pesticidas³³ e herbicidas³⁴. Substâncias estas que acabam contaminando lençóis freáticos, rios e lagos, contaminando a flora ao redor do ambiente utilizado para tais atividades (Barbosa *et al.*, 2015).

Cada vez mais as pessoas têm buscado formas alternativas de cultivar seus próprios alimentos. Contudo esta realidade nas grandes cidades torna-se difícil, principalmente com relação ao espaço físico disponível. Diante desses fatos, este trabalho tem como objetivo demonstrar na prática a aplicação de um sistema de controle automatizado, voltado ao cultivo hidropônico em pequena escala, tendo como principais atividades o monitoramento, o controle e a atuação nos diversos dispositivos implementados.

³³ Pesticidas, também conhecidos como agrotóxicos, são substâncias químicas com ação tóxica e tem como ingredientes ativos compostos químicos formulados para aumentar o potencial produtivo dos solos, prevenir, combater ou destruir espécies indesejáveis que possam interferir na produção de alimentos (Melo, 2010).

³⁴ Herbicidas são agentes biológicos ou substâncias químicas capazes de matar ou suprimir o crescimento de espécies específicas (Roman, 2005).

A hidroponia tem se consolidado como boa alternativa para cultivo e alimentos em locais que não dispõem dos recursos naturais, como um canteiro de horta.

Através dela, é possível o desenvolvimento de hortaliças e tubérculos, a partir do fornecimento das variáveis ambientais e nutrientes necessários. Porém, o rigor na manipulação destas variáveis, assim como o controle dos nutrientes, é crítico, exigindo uma atenção e supervisão maior de quem a cultiva.

Fatores estes que inibem a disseminação desta forma de cultivo em pequena escala, pois as pessoas possuem a necessidade, porém, não dispõem do tempo para dedicar-se à cultura.

Uma forma de disseminar a cultura do cultivo hidropônico é tornar o processo de manipulação mais acessível ao usuário, evitando o dispêndio de muito tempo para o monitoramento e controle das variáveis, que afetam o desenvolvimento dos alimentos ali cultivados.

A utilização de um sistema automatizado de monitoramento e acionamento de variáveis ambientais, com fornecimento de nutrientes e iluminação, de forma que permita o controle automático de condições ambientais específicas para cada cultura, na escala desejada, pode ser percebido na Figura 19.1.

Figura 19.1 – Solução automatizada para cultivo hidropônico



Fonte: Autor (2022).

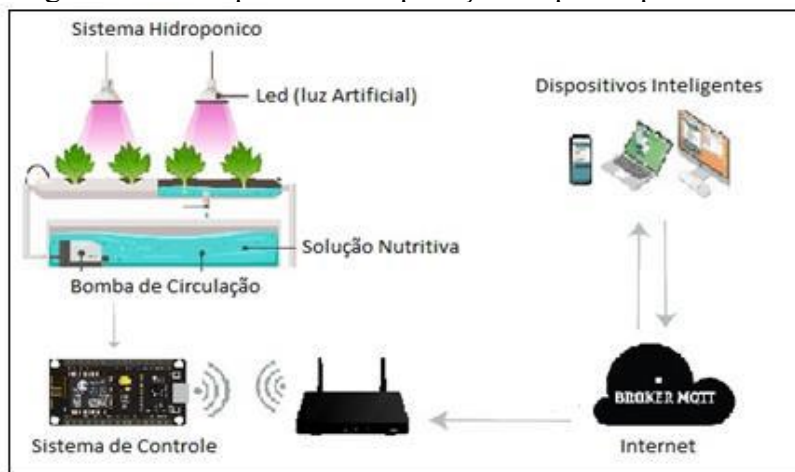
O objetivo geral deste trabalho é estudar as funcionalidades de um sistema de controle automatizado aplicado no cultivo de hortaliças pelo processo hidropônico, com luz artificial, de forma modular e de baixa escala.

Como os objetivos específicos se traduzem na decomposição do objetivo geral, haverá as seguintes etapas:

- a) pesquisar as variáveis pertinentes a sistemas hidropônicos;
- b) definir uma cultura e suas variáveis de controle para servir como protótipo funcional;
- c) montar os sensoriamentos do protótipo funcional;
- d) montar os acionamentos do protótipo funcional;
- e) programar o microcontrolador para monitorar e atuar as entradas e saídas;
- f) desenvolver o aplicativo supervisorio;
- g) desenvolver a comunicação do microcontrolador com o sistema supervisorio;
- h) coletar os dados de funcionamento do sistema automatizado;
- i) analisar os resultados;
- j) publicar monografia do trabalho de conclusão de curso.

Após implantação das etapas mencionadas anteriormente, espera-se obter um sistema de controle capaz de fornecer as informações, em tempo real, das condições gerais do sistema hidropônico, de forma que possa ser ajustado e controlado remotamente, sempre que necessário, conforme mostrado na Figura 19.2. E que ele seja capaz de se gerenciar, com isso trazendo maior autonomia ao cultivo e maior comodidade ao usuário.

Figura 19.2 - Arquitetura da aplicação do protótipo funcional



Fonte: Adaptado de Veloso *et al.* (2022).

Assim, se pode elencar os resultados esperados como sendo:

- a) monitoramento das variáveis de interesse em uma tela supervisorio;
- b) cultivo com menor interferência humana;
- c) método capaz de motivar ao cultivo hidropônico em baixa escala.

A hidroponia, apesar de ainda ser pouco difundida, vêm sendo estudada a anos. Dados indicam que pesquisas são realizadas bem antes do século XX, tendo seu início por volta dos anos 1665, na cidade de Londres por um professor de Medicina chamado John Woodward, o qual descobriu a importância da matéria mineral para as plantas.

Sprengel foi considerado em 1839, o primeiro a identificar primordialidade dos macronutrientes N, P, K, Ca, Mg e S. Contudo, só em 1860 surge a primeira solução nutritiva para plantas idealizada por Julius Von Sachs, um botânico de origem alemã, que em suas experiências, demonstrou que a fase sólida do solo pode ser dispensada na nutrição da planta. E no mesmo ano o também alemão Knopp, desenvolveu outra solução nutritiva, esta que até hoje continua sendo a preferida para pesquisas em nutrição (Bezerra, 2017).

Para Bezerra (2017), hidroponia do *latim* “trabalho com água”, deixa implícito o método de cultivo, utilizando a água, como uma solução nutritiva necessária para o crescimento da planta, sem a necessidade do solo.

A Figura 19.3 apresenta um exemplo de hidroponia em ambiente controlado em larga escala.

Figura 19.3 – Hidroponia em ambiente controlado



Autor: PEXELS³⁵ (2022).

De acordo com Makishima (2000, p. 2): “A hidroponia é uma forma de cultivo sem solo, com ou sem substrato³⁶, em que os nutrientes são fornecidos às plantas em fluxo contínuo ou intermitente, como em filme estático, continuamente aerado, de solução nutritiva.”

³⁵ Pexels o uso desta imagem foi autorizado pelo website (Pexels, 2022).

³⁶ Substrato são insumos utilizados na produção agrícola e em paisagismo ou na produção de mudas e plantas em vasos (Makishima, 2000).

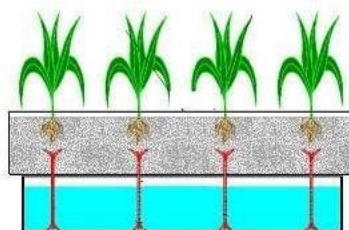
Segundo o autor, hidroponia, é uma das técnicas mais importantes como instrumentos de pesquisa, no que se refere a composição das plantas, bem como, em sua forma de crescimento. Salienta também que se trata de um método de cultivo que vem de tempos remotos como: os jardins suspensos da Babilônia e os jardins flutuantes dos Astecas. Mas, contudo, só a partir dos anos 30 que se popularizou, e se tornou uma atividade comercial por volta dos anos 80 (Makishima, 2000).

Segundo Souza (2010) existem dois tipos de sistema de cultivo: o ativo e o passivo. No passivo não há circulação do nutriente, ou seja, a solução fica estática, sendo absorvida por capilaridade. Esse tipo também é conhecido como sistema de pavio. Já o sistema ativo ocorre a circulação da solução nutritiva, sendo realizada pela bomba de água, neste caso necessitando ainda de um sistema de oxigenação, pois durante o processo há perdas.

Conforme o autor, existe vários métodos de cultivo, tanto para ativo quanto passivo, sendo eles: sistema de pavio, de leito flutuante, de sub-irrigação, gotejamento, de aeropônico e NFT (Técnica de Filme de Nutriente).

O sistema de pavio é o método onde a planta absorve o nutriente por um pavio através da capilaridade, na Figura 19.4 há a visualização do método (Souza, 2010).

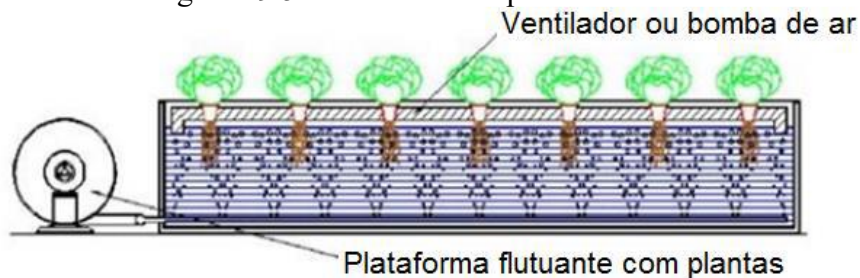
Figura 19.4 – Sistema hidropônico de pavio



Fonte: Souza (2010).

No sistema flutuante, as plantas ficam com suas raízes completamente imersas na solução nutritiva, sendo suspensas por uma placa, que flutua sobre a solução. A bomba utilizada serve para oxigenar a solução (Souza, 2010). A Figura 19.5 apresenta a visualização do sistema hidropônico flutuante.

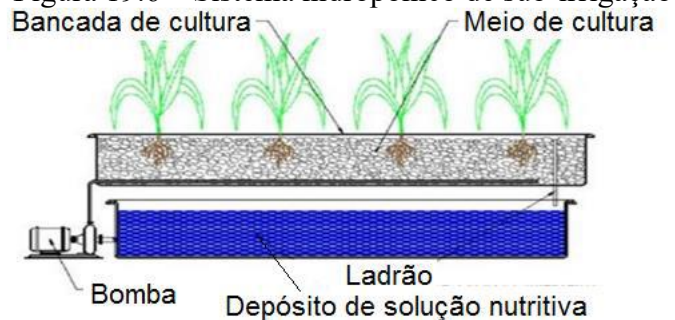
Figura 19.5 – Sistema hidropônico flutuante



Fonte: Souza (2010).

No sistema de sub-irrigação há o processo de encher o reservatório e esvaziar através de bombeamento por períodos pré-determinados. Isto força o fornecimento do nutriente pelo fluxo sem sobrecarregar a planta (Souza, 2010). A Figura 19.6 apresenta a visualização do sistema de sub-Irrigação.

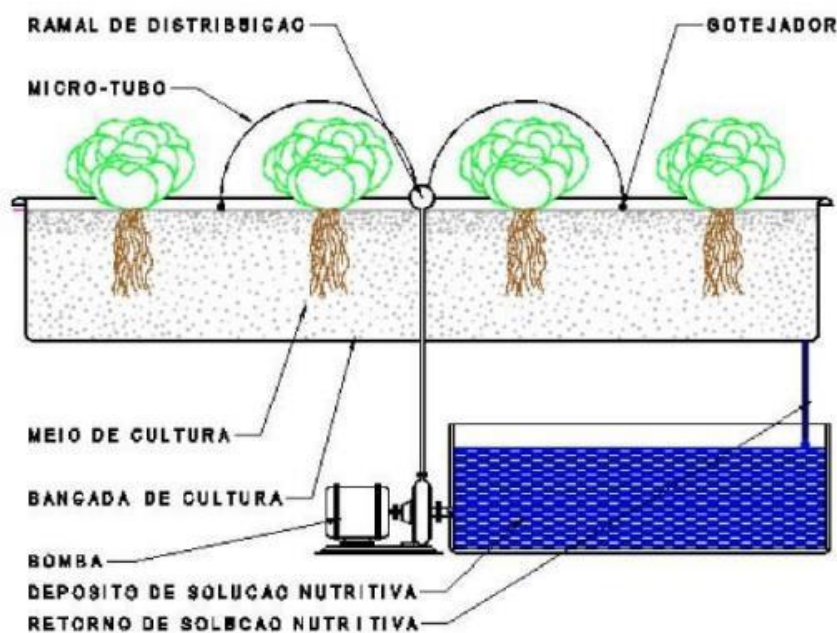
Figura 19.6 – Sistema hidropônico de sub-irrigação



Fonte: Souza (2010).

O sistema por gotejamento é um dos mais utilizados no mundo. Segue o processo de gotejar o nutriente direto na base da planta, em períodos controlados (Souza, 2010). A Figura 19.7 apresenta a visualização do sistema hidropônico de gotejamento.

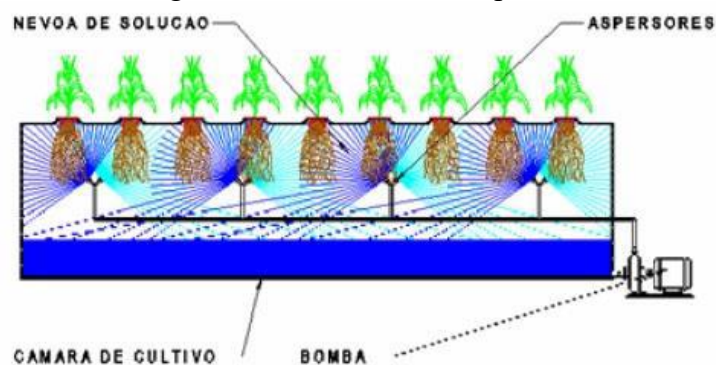
Figura 19.7 – Sistema hidropônico de gotejamento



Fonte: Souza (2010).

No sistema aeropônico, os nutrientes são levados as plantas através do ar úmido. Essas, suspensas e com suas raízes expostas em contato direto com ar úmido e, desta forma, são aspergidos a solução nutritiva (Souza, 2010). A Figura 19.8 apresenta a visualização do sistema aeropônico.

Figura 19.8 – Sistema Aeropônico



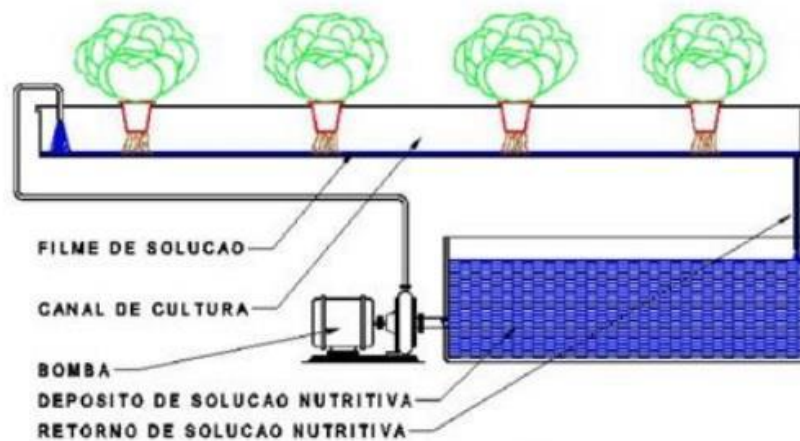
Fonte: Souza (2010).

No sistema NFT³⁷, o fluxo da solução nutritiva é fornecido em intervalos de tempo. A solução nutritiva fica acumulada no reservatório, onde há o requisito de que a

³⁷ NFT é a forma de cultivo hidropônico em que as plantas são cultivadas tendo seu sistema radicular dentro de um canal ou canaleta, em que suas raízes ficam em contato a solução nutritiva (Souza, 2010).

temperatura não ultrapasse 30°C. As plantas são colocadas em tubos de PVC (Policloreto de Vinila) que servirão para distribuir a solução nutritiva e com declive que varia entre 1,5% e 2,5%, por onde a solução atravessa de forma constante, formando uma lâmina de água. O fluxo do nutriente é realizado através de bomba de água instalada no reservatório. Após o ciclo, a solução retorna para o reservatório (Souza, 2010). A Figura 19.9 apresenta a visualização do sistema NFT.

Figura 19.9 – Sistema NFT



Fonte: Souza (2010).

2 METODOLOGIA

Esta pesquisa tem como proposta, apresentar um estudo experimental de um sistema automatizado de controle e monitoramento para o cultivo hidropônico, com luz artificial. Serão utilizados dispositivos de controle de ambiente (sensores e atuadores), que serão implantados no sistema hidropônico, e assim, será oferecida uma maior comodidade e bem-estar aos usuários no controle e monitoramento do cultivo.

A pesquisa possui o caráter qualitativo, pois, para avaliação foram implementados no sistema, dispositivos de monitoramento de luminosidade, temperatura e umidade e acionamento de dispositivos como bomba de vazão, LEDs e relés, existente no local. De forma que serão aferidas a funcionalidades que estes dispositivos oferecem ao cultivo hidropônico.

Por fim, a pesquisa terá caráter exploratório, pois se utilizou de bibliografia, metodologias e pesquisas anteriores realizadas, como base de conhecimento na

automação da hidroponia, tendo em vista ainda, a facilitação no uso dos processos existentes pelos usuários.

Esta pesquisa foi desenvolvida como caráter qualitativo, experimental e descritivo, tendo como propósito melhorar os processos adotados atualmente no controle do cultivo hidropônico doméstico, e assim, trazer maior comodidade, conforto e flexibilidade aos usuários deste sistema.

Como estudo de caso, há a implementação de um sistema de controle em um cultivo hidropônico doméstico. A interface entre usuário e o sistema desenvolvido, se dará do resultado do gerenciamento do microcontrolador e os dispositivos conectados a ele (sensores e atuadores). Através da confecção de um sistema hidropônico em escala, e assim, sendo criado um protótipo funcional do sistema.

O estudo de monitoramento e controle hidropônico de baixa escala produzido neste projeto, pode ser utilizado em outras culturas, como *avicultura*³⁸, no controle de temperatura, controle da ração e água e no controle da iluminação. Também podem ser aplicadas na *suinocultura*³⁹, no controle da temperatura e umidade e *piscicultura*⁴⁰ o controle e monitoramento de pH da água, possibilitando de esta forma ser implementado em cultivos de pequeno e médio porte.

Na avicultura, dentre os fatores que influenciam diretamente na produção de ovos com aves de postura, estão o controle da temperatura que deve ser mantido entre 14°C até 26°C e umidade relativa entre 40% e 60%, bem como em torno de 12 a 16 horas de exposição a luz solar ou artificial (EMBRAPA, 2004).

Ainda, segundo EMBRAPA (2017a), para se obter melhor desempenho na produção da carne suína, são necessários passar por uma série de processos nos cuidados ao bem-estar do animal, nos quais estão o controle da temperatura, em torno de 16°C a 23°C e umidade variando entre 50% e 70%.

Para obter os resultados desejados, foi implementado um protótipo funcional com sensoriamento de umidade, temperatura, luminosidade e controle de vazão, bem como, atuação na intensidade e tipo de luz e irrigação do sistema. Estes dispositivos de entrada e saída, controlados por um módulo microcontrolador ESP8266 NodeMCU, que se conectará através de rede *WiFi* a um *Broker*, através do protocolo MQTT. Para informar

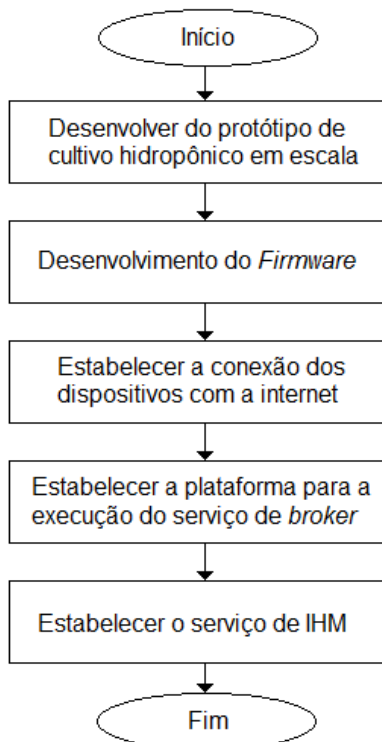
³⁸ Avicultura é criação de aves para produção de alimentos (EMBRAPA, 2004).

³⁹ Suinocultura é a cultura de criação de suínos em território limitado, para que possam receber cuidados essenciais a sua sobrevivência e desenvolvimento (EMBRAPA, 2017a).

⁴⁰ Piscicultura é a produção de peixes em ambiente controlado, como exemplo: tanques, açudes e piscinas (EMBRAPA, 2017b).

dados dos sensores e atuadores, assim como receber e enviar parâmetros, a partir de um aplicativo supervisor. Na Figura 19.10 há a visualização das etapas da metodologia aplicada neste projeto.

Figura 19.10 – Etapas de aplicação da metodologia



Fonte: Autor (2022).

A primeira etapa é desenvolver o protótipo de cultivo hidropônico em escala, no qual é implementado o sistema. O protótipo é confeccionado em tubo PVC, tendo o formato final de uma estante. Também são instalados os tubos de PVC que serviram de berçário para as hortaliças, seguindo o padrão NFT, o reservatório do composto nutritivo e o restante da rede hidráulica e da rede elétrica.

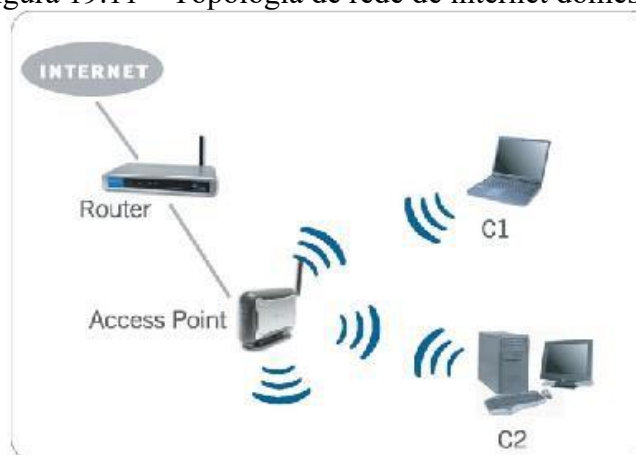
A segunda etapa é o desenvolvimento do *Firmware*⁴¹, que é instalado no microcontrolador. Esse com a função de gerenciar os dados recebidos pelos sensores (temperatura, umidade e iluminação) e executar as ações através dos atuadores (bomba, relé, iluminação). Nesta etapa é definido o microcontrolador para o sistema, sendo assim, a plataforma escolhida foi o ESP8266 NodeMCU como controlador do sistema, devido ao fato de já o possuir e ter utilizado em outros projetos, o que facilitou a utilização e

⁴¹ *Firmwares* são conhecidos também como “*software embarcado*”, ou seja, são conjuntos de instruções operacionais que são programadas diretamente no hardware de equipamentos eletrônicos (TECHTUDO, 2014).

configurações, bem como por não ter custo. Apesar de existirem controladores equivalentes no mercado como o ESP32, Raspberry, Arduino (AVR) com módulo *WiFi*, entre outros, este por sua vez supriu a necessidade deste projeto.

A terceira etapa é estabelecer a conexão dos dispositivos com a internet. Para isso, o protótipo é instalado em um local onde há cobertura de rede de internet, o que possibilita a utilização da conexão *WiFi* com a rede *LAN* (rede local) e por consequência acessar a rede *WAN* (rede externa). Na Figura 19.11 é apresentado a topologia básica de uma rede de internet doméstica.

Figura 19.11 – Topologia de rede de internet doméstica



Fonte: Telemundi (2022).

A quarta etapa é estabelecer a plataforma para a execução do serviço de *broker*, ou seja, estabelecer o serviço de aquisição dos dados, que disponibilizará as informações na nuvem, em tempo real. Atualmente existem diversos serviços de *broker* como: Mosquitto, Adafruit, HiveMQ, Dioty, Eclipse e outros.

A quinta etapa é estabelecer o serviço de IHM (Interface Humano Máquina). Este serviço tem como principal função a de estabelecer a interface de interação entre o usuário e o sistema. Dessa forma possível a visualização das informações enviadas dos sensores e executar ações através dos atuadores.

Este serviço se apresenta em painéis que possibilitam acionar botões, receber alertas e verificar variações em gráficos dinâmicos. Esses painéis também são conhecidos como *dashboards*⁴².

⁴² *Dashboards* é um painel visual que contém informações, métricas e indicadores (Patel, 2022).

Estas funcionalidades podem ser acessadas tanto por um aplicativo de celular quanto pelo site. Atualmente, existem diversos serviços de interfaces, como: Adafruit IO, MQTTDash, Eclipse, Blynk e outros.

Para o projeto foi definido a plataforma Adafruit IO, para o acesso por computador. Para acesso pelo aparelho telefônico celular foi escolhido o aplicativo *dashboard* MQTTDash, como serviços de interface de interação.

3 RESULTADOS E ANÁLISE

Para validação da hipótese proposta, o método apresentado no capítulo anterior é executado, em cada uma de suas fases.

Na fase 1, desenvolver protótipo de cultivo hidropônico, foram utilizados tubos de PVC na dimensão de 20mm de diâmetro e em suas junções foram utilizadas conexões da mesma especificação. Já para a calha que serviu de suporte para as plantas e canal para o fluxo do nutriente, foi utilizado tubo de PVC no diâmetro de 100mm, com furos em sua lateral no diâmetro de 50mm, espaçados a 250mm entre centros, sendo suas extremidades fechadas com CAP⁴³. Na sua lateral foi utilizada uma chapa de MDF (Placa de Fibra de Média Densidade), que serviu de base para instalação dos componentes eletrônicos como controlador e relés.

A Figura 19.12 apresenta a estrutura do protótipo montada.

Figura 19.12 – Estrutura do protótipo de cultivo hidropônico



Fonte: Autor (2022).

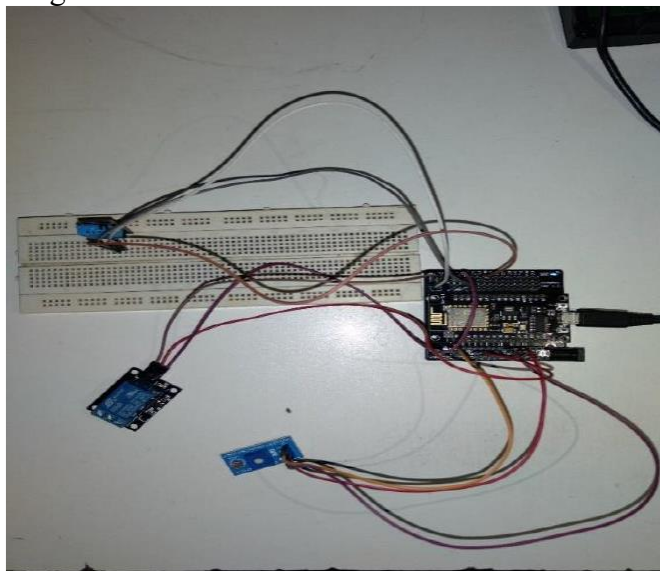
⁴³ CAP é um tampão, são utilizados para vedar extremidades de tubos (Plastilit, 2022).

Na fase 2, desenvolvimento do *Firmware*, foram implantados o módulo sensor de temperatura e umidade modelo DHT11. Instalado o módulo sensor de iluminação LDR que fará o monitoramento da incidência de luz. Foi instalado o módulo relé para acionamento das cargas, tanto para bomba responsável pela irrigação, quanto para acionamento e desacionamento da iluminação.

Na sequência foi executada a montagem dos circuitos, no qual foram realizados os primeiros testes. Para tanto foi necessário o uso de uma matriz de contatos⁴⁴.

A Figura 19.13 há o modelo do circuito inicial em teste.

Figura 19.13 – Modelo do sistema físico em teste

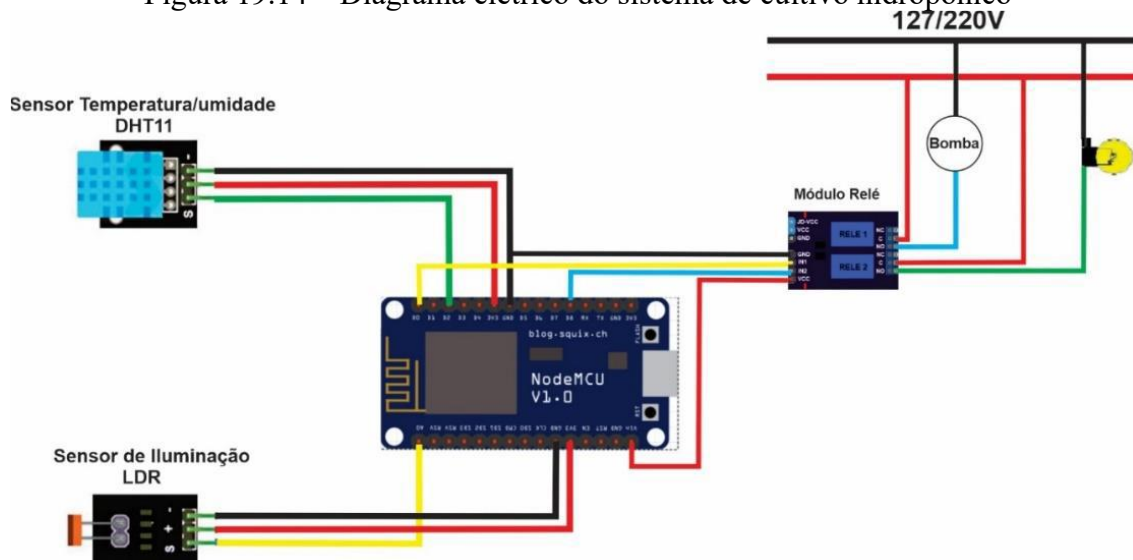


Fonte: Autor (2022).

Conforme demonstrado no modelo físico da figura, o microcontrolador utilizado no gerenciamento do sistema foi o ESP8266 NodeMCU. Nele foi instalado o *firmware*, contendo as funcionalidades respectivas a cada dispositivo conectado, assim como a realização das conexões de entrada e saída de dados dos sensores e atuadores. Na Figura 19.14 é apresentado o diagrama elétrico do sistema.

⁴⁴ Matriz de contato é uma placa com diversos furos e conexões condutoras verticais e horizontais, para a montagem de circuitos elétricos experimentais (Rosas, 2022).

Figura 19.14 – Diagrama elétrico do sistema de cultivo hidropônico



Fonte: Autor (2022).

A fase 3 do método é estabelecer a conexão dos dispositivos com a internet, para isso foram realizadas as configurações referentes à rede *WiFi*, entre o dispositivo e roteador, e assim, estabelecendo uma conexão à rede internet.

O uso das plataformas de desenvolvimento como Arduino, ESP8266 e outros, de um modo geral, faz-se necessário a utilização de bibliotecas. Bibliotecas são arquivos de códigos, na qual possuem em sua estrutura, uma série de funções desenvolvidas especificamente para executar determinadas tarefas e ações pelo microcontrolador.

Neste projeto, para que haja a conexão via *WiFi* no ESP8266 NodeMCU, é necessária a utilização da biblioteca *ESP8266WIFI.h*, pois através dela é possível ativar o módulo *WiFi* integrado na placa e estabelecer a conexão.

Outra etapa desta configuração foi estabelecer os parâmetros de acesso à rede *WiFi* no *firmware*, assim como, os parâmetros de configuração para estabelecer a comunicação com o *broker*, por intermédio do protocolo MQTT.

A Figura 19.15 apresenta o trecho do *firmware* código, em que são estabelecidas as bibliotecas, os parâmetros da rede *WiFi* no microcontrolador e os parâmetros para a comunicação com a plataforma *online* Adafruit IO.

Figura 19.15 – Trecho do código contendo as bibliotecas e os dados de configuração

```

WiFi
//***** Controle Hidroponico *****
//placa "NodeMCU 1.0(ESP-12E Module)"

#include <ESP8266WiFi.h>
#include <Adafruit_MQTT.h>
#include <Adafruit_MQTT_Client.h>

//*****Configurações de conexao Wifi*****

#define SSID "CYBER_E6DC.1" //Nome da rede WiFi
#define PASS "70926033" //Senha da rede Wifi

//*****Configuração Adafruit.io *****

#define AIO_SERVER "io.adafruit.com" //Servidor MQTT
#define AIO_SERVERPORT 1883 //Porta do Servidor
#define AIO_USERNAME "dudaedu" //Nome do usuário na Adafruit.IO
#define AIO_KEY "aio_rQWn48Owvrjlvugszz0PT9w9XKf" //Chave de segurança do usuário na Adafruit IO
Fonte: Autor (2022).

```

A fase 4 é estabelecer a plataforma para a execução do serviço de *broker*. A plataforma escolhida para fornecer este serviço foi Adafruit IO. Nela foram realizadas as configurações e implantação do serviço de comunicação com o *broker*. Além da comunicação, a plataforma Adafruit também proporciona o acesso do usuário, armazenamento e aquisição de dados, possibilitando o monitoramento e acionamento dos dispositivos em tempo real.

Por se tratar de uma comunicação realizada através do protocolo MQTT, o qual é fundamentado na publicação e assinatura por meio de troca de mensagens através da internet, foi necessária a utilização das bibliotecas *Adafruit_MQTT.h* e *Adafruit_MQTT_Client.h*, que foram mostradas anteriormente na figura, além da declaração dos tópicos no *firmware*.

Os tópicos são endereços utilizados para encaminhamento de mensagens. A criação destes tópicos se dá pelo cliente publicador, quando há uma publicação no *broker* um “*publish*”. O tópico é estruturado da seguinte forma, como exemplo: “Iluminação” <Mensagem>, Tipo <Publish>, Tópico <dudaedu/Controle Hidroponico/iluminacao>, Qualidade (QoS1), Retenção <Não>.

Segundo Peixoto (2021), para um melhor entendimento do papel de cada componente no funcionamento do protocolo MQTT, o autor explica que existem três componentes atuantes: o cliente publicador, o agente assinante e o agente de recebimento e entrega de mensagens no *broker*.

O cliente publicador é o que fornece um valor ou uma mensagem a todos que quiserem essa informação. Esse por sua vez, possui um agente de recebimento e entrega,

contendo uma estrutura de tópico. Ao receber o tópico cabe ao agente identificar os clientes assinantes que solicitaram assinatura, e reenviar a todos a informação publicada.

Já o cliente assinante receberá simultaneamente a informação do cliente publicador, assim que identificado como agente assinante do tópico específico (Peixoto, 2021). A Figura 19.16 mostra o trecho do *firmware* onde são declarados os tópicos de publicação, contendo os valores de iluminação, temperatura e umidade, os quais captam as variações do ambiente e publicam na plataforma. E os tópicos de assinatura contendo o LED e a bomba, os quais acionam as cargas e assinam na plataforma.

Figura 19.16 – Tópicos de publicação e assinatura

```
//*****Tópicos de Publicação e Assinatura na Plataforma Adafruit.io*****
Adafruit_MQTT_Publish iluminacao = Adafruit_MQTT_Publish(&mqtt, AIO_USERNAME "/feeds/iluminacao");
Adafruit_MQTT_Publish temperatura = Adafruit_MQTT_Publish(&mqtt, AIO_USERNAME "/feeds/temperatura");
Adafruit_MQTT_Publish umidade = Adafruit_MQTT_Publish(&mqtt, AIO_USERNAME "/feeds/umidade");
Adafruit_MQTT_Subscribe led = Adafruit_MQTT_Subscribe(&mqtt, AIO_USERNAME "/feeds/led");
Adafruit_MQTT_Subscribe bomba = Adafruit_MQTT_Subscribe(&mqtt, AIO_USERNAME "/feeds/bomba");
```

Fonte: Autor (2022).

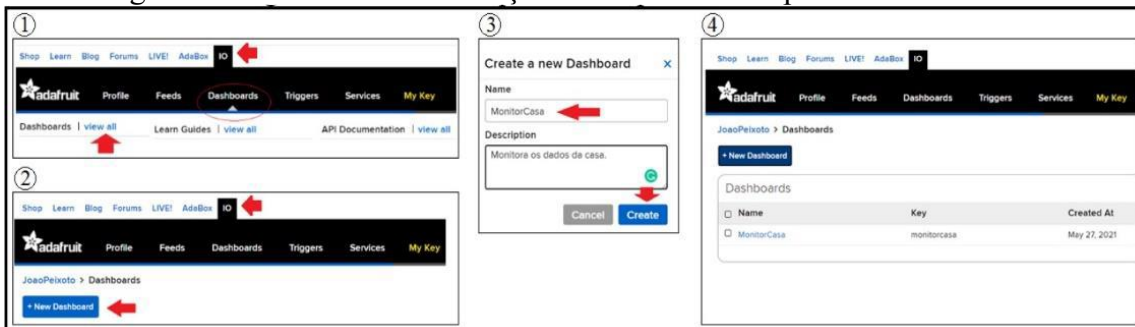
Na fase 5, estabelecer o serviço de IHM, foi utilizada a plataforma AdafruitIO para implementar os objetos gráficos de interface com o usuário. Esta plataforma conecta o objeto através de tópicos parametrizados.

Após a criação de uma conta de usuário na plataforma, a próxima etapa foi a criação de *feeds*⁴⁵. A principal função de um *feed* é que seus dados são armazenados no repositório, com base na data e hora em que seu valor foi alterado.

Logo em seguida, se realizou a criação do *dashboard*, ou seja, a criação do painel que apresenta um conjunto de informações relacionadas aos processos, de forma que seja clara e precisa. Na Figura 19.17 há o processo de criação do *dashboard* na plataforma Adafruit.

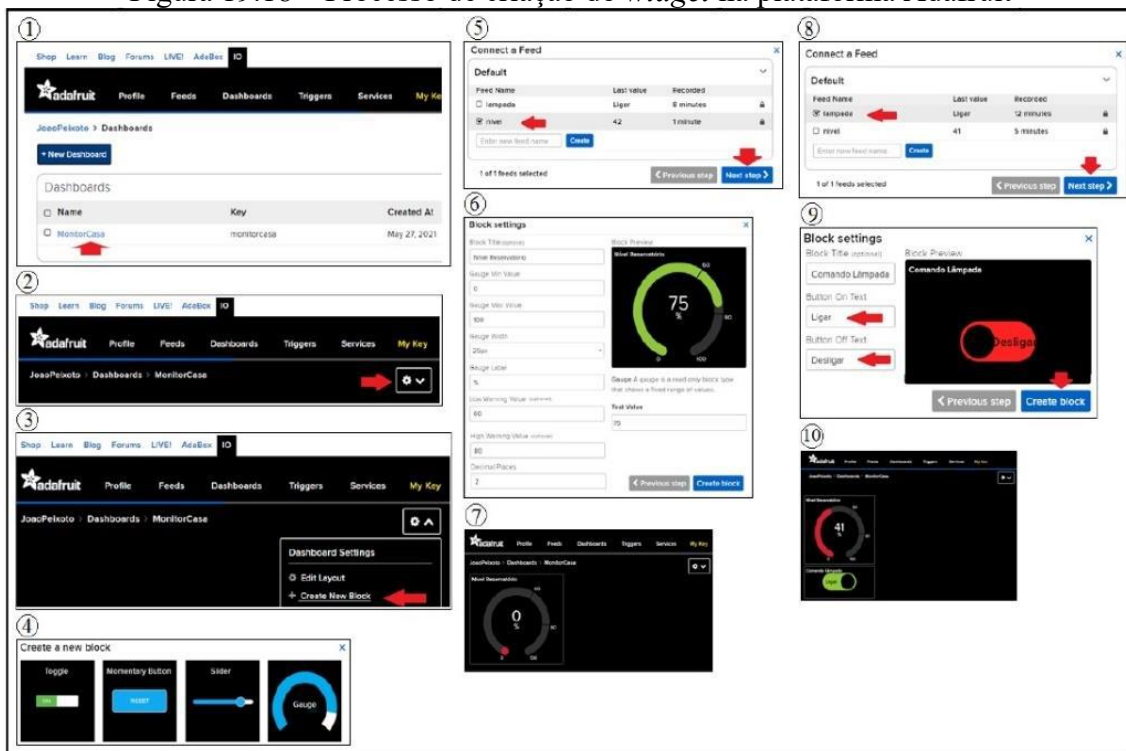
⁴⁵ *Feeds* é uma posição de memória que recebe os dados oriundos de uma postagem ou de uma submissão (Peixoto, 2021).

Figura 19.17 – Processo de criação do Dashboard na plataforma Adafruit



Fonte: Peixoto (2021).

O *dashboard* exibirá *widgets*⁴⁶, em um leiaute definido pelo programador. Assim os *feeds* serão apresentados graficamente no painel, à medida que são inseridas as postagens do cliente MQTT. A Figura 19.18 temos o processo de criação do *widget*.

Figura 19.18 – Processo de criação do *widget* na plataforma Adafruit

Fonte: Peixoto (2021).

Na Figura 19.19, há a interface gráfica em forma de *Dashboard*, no qual o usuário pode acompanhar em tempo real as oscilações do cultivo e ligar e desligar dispositivos.

⁴⁶ Widgets um elemento de interação, tal como janelas, botões, menus, ícones, entre outros. O termo pode também se referir aos pequenos aplicativos que flutuam pela área de trabalho e fornecem funcionalidades específicas ao utilizador (previsão do tempo, relógio, entre outros) (Peixoto, 2021).

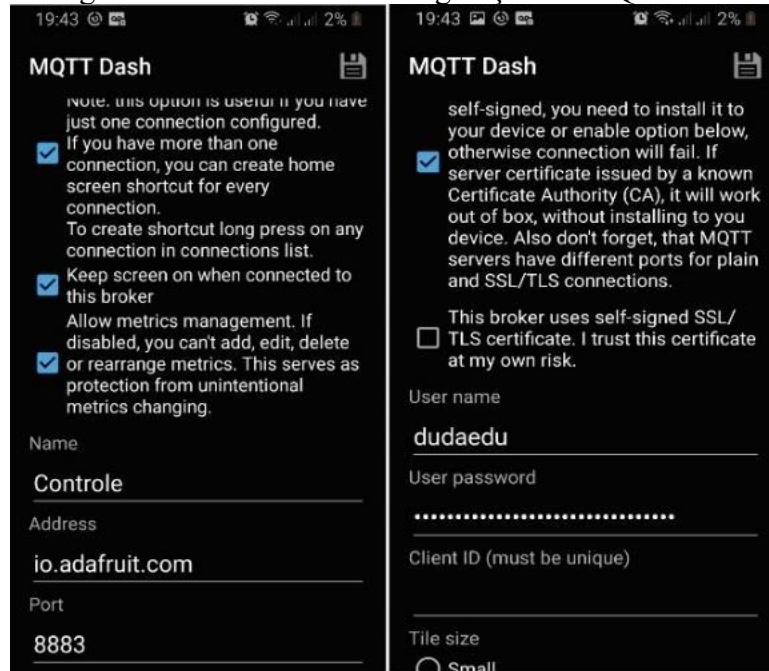
Figura 19.19 – *Dashboard* da interface gráfica do cultivo hidropônico

Fonte: Autor (2022).

Também foi criado um *dashboard* no aplicativo para dispositivos móveis. O serviço escolhido foi o MQTTDash. Esta plataforma disponibiliza interface gráfica, de forma que possibilita a visualização das oscilações e o estado dos dispositivos em tempo real e ligá-los e desligá-los. Estes serviços são disponibilizados gratuitamente pela plataforma.

Após a instalação do aplicativo, a primeira etapa é a passagem de parâmetros para a conexão com o serviço de *broker* na plataforma Adafruit IO. Dos parâmetros apresentados se têm: *Name* (nome do *dashboard* no aplicativo), *Address* (endereço web da plataforma Adafruit IO), *port* (porta de comunicação com a plataforma Adafruit IO), *UserName* (nome de usuário no Adafruit IO), *User Password* (chave de segurança da conta no Adafruit IO), *ClientID* (chave de segurança da conta no Adafruit IO). Na Figura 19.20 apresenta o painel de configuração do MQTTDash.

Figura 19.20 - Painel de configuração do MQTTDash



Fonte: Autor (2022).

A segunda etapa foi a criação do painel de controle gráfico customizável, nos quais são mostrados os valores recebidos dos sensores e o estado dos atuadores em tempo real. A Figura 19.21 demonstra o *dashboard* do aplicativo de monitoramento do cultivo pelo MQTTDash.

Figura 19.21 - Dashboard do aplicativo de monitoramento do cultivo hidropônico pelo MQTTDash



Fonte: Autor (2022).

Por fim, após implantação das etapas anteriores, obteve-se um protótipo funcional, simulando as funcionalidades diárias do sistema. Na Figura 19.22, se tem o protótipo funcional finalizado, com o sistema de monitoramento hidropônico em funcionamento.

Figura 19.22 – Protótipo funcional de cultivo hidropônico finalizado



Fonte: Autor (2022).

O Quadro 19.1 apresenta as funcionalidades obtidas com o protótipo funcional desenvolvido.

Quadro 19.1 – Funcionalidades obtidas com o protótipo de cultivo hidropônico automatizado

Funcionalidade	Significância ao cultivo hidropônico
Monitoramento remoto da temperatura	Através desta funcionalidade é possível monitorar a temperatura do cultivo. Como exemplo, as hortaliças possuem uma faixa ideal é de 15°C a 24°C.
Monitoramento remoto da umidade relativa	O monitoramento da umidade permite verificar a faixa ideal para cada cultivo e fazer com que se mantenha nela. Como exemplo, as hortaliças possuem faixa ideal entre 20% a 80%.
Monitoramento remoto da iluminação	Através desta funcionalidade é possível monitorar a incidência de luz no cultivo. Como exemplo, as hortaliças necessitam de uma faixa ideal de 18 horas de iluminação para 6 horas de escuridão.
Comando remoto da iluminação	Através desta funcionalidade é possível acionar e desacionar a iluminação, tendo por base os valores demonstrados pelo monitoramento de iluminação e horário do dia.
Comando remoto da irrigação	Através desta funcionalidade é possível acionar e desacionar a irrigação, tendo por base os valores demonstrados pelo monitoramento de temperatura/umidade e horário do dia.

Fonte: Autor (2022).

Com a aplicação de métodos e técnicas similares, utilizados em projetos expostos anteriormente neste trabalho como: monitoramento de temperatura, condutividade e pH na água para cultivo hidropônico através de IoT, do autor Oliveira (2020); implementação de um controle em Real-Time para sistemas hidropônicos NFT e aquaponia utilizando broker MQTT e tecnologias IoT, dos autores Veloso *et. al.* (2018); sistema de irrigação doméstica baseado em internet das coisas (IoT), do autor Grehs (2016) e casa 4.0 estudo de funcionalidades que uma automação residencial interativa proporciona, do autor Guedes (2021), foi possível a implantação de um sistema de monitoramento e controle em um protótipo de cultivo hidropônico.

Isso auxiliou para o desenvolvimento de novas possibilidades de iteração com a cultura hidropônica. O Quadro 19.2 faz uma comparação das funcionalidades, antes e depois da implantação do sistema de monitoramento hidropônico.

Quadro 19.2 – Comparativo das funcionalidades antes e depois da implantação do sistema

Funcionalidades	Sem o monitoramento hidropônico	Com o monitoramento hidropônico
Monitoramento de temperatura.	Realizado de forma presencial e manual.	Realizado de forma autônoma e remota em tempo real.
Monitoramento de umidade.	Não monitorado.	Realizado de forma autônoma e remota em tempo real.
Monitoramento de iluminação.	Não monitorado.	Realizado de forma autônoma e remota em tempo real.
Acionamento da iluminação.	Acionado de forma manual e presencial.	Realizado de forma remota em tempo real.
Acionamento da irrigação.	Acionado de forma manual e presencial.	Realizado de forma remota em tempo real.

Fonte: Autor (2022).

Conforme demonstrado no quadro, após a implantação do sistema de monitoramento, tanto o controle, quanto as ações do usuário, tornaram-se mais eficientes.

Deve-se considerar que anteriormente todas as ações eram executadas de forma manual e não possuía nenhum tipo de armazenamento dos dados, o que impossibilitava uma análise para tomada de decisão.

Dessa forma, a partir da implantação do sistema, além do monitoramento, também foi possível a verificação das variações do cultivo através dos históricos de dados fornecidos pelo *broker*, tornando mais eficaz a tomada de decisão.

Com relação ao monitoramento de temperatura, antes realizado de forma esporádica e sem precisão, a partir dos valores recebido dos sensores e do histórico de dados foi possível tomar decisões visando obter a temperatura ideal para o cultivo. Um exemplo destas possibilidades seria em casos de temperaturas elevadas, com o acionamento de exaustores e aumento da vazão da solução nutritiva, ou ainda, em cultivos de médio porte. Além das ações anteriores, o acionamento de telas de sombreamento, para diminuição da incidência da luz solar.

Para o monitoramento da umidade, antes não monitorado, a partir dos valores recebido dos sensores e do histórico de dados, foi possível tomar decisões visando obter a umidade do ar que melhor se adequa ao cultivo. De modo geral, as culturas toleram mais as umidades altas, ficando em torno de 70% a 75%. Neste caso realiza-se o acionamento de pulverizadores quando a umidade ficar abaixo de um valor predeterminado, ou ainda, para cultivos de médio porte, o acionamento de exaustores em uma das extremidades e uma parede d'água em outra extremidade, de forma que, à medida em que o exaustor retira o ar quente e seca de um lado, ao mesmo tempo ele está puxando através da parede d'água o ar frio e umedecido.

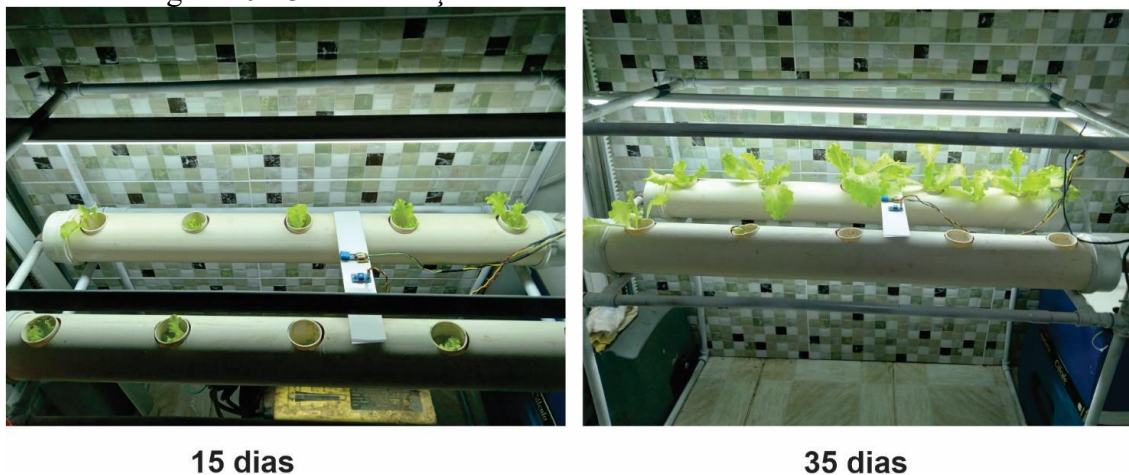
Referente ao monitoramento da iluminação, que antes não era monitorado, a partir dos valores recebidos dos sensores e do histórico de dados, foi possível tomar decisões visando obter período de incidência de luz sobre o cultivo.

Tendo em vista, que o período ideal é de 18 horas de iluminação, isto representa um melhor aproveitamento referente ao processo de fotossíntese⁴⁷ e 6 horas de escuridão para repouso do cultivo.

A Figura 19.23 mostra a diferença no crescimento das plantas que receberam maior exposição a incidência da luz, do que as outras.

⁴⁷ Fotossíntese é o processo fotoquímico realizado por organismos produtores que consiste na produção de energia química através da captura da luz solar (Escola, 2022).

Figura 19.23 – Diferença no crescimento devido a incidência de luz



Fonte: Autor (2022).

O acionamento de iluminação em conjunto com o monitoramento, trouxe ao usuário uma maior flexibilização e a agilidade na ação a ser tomada. Até mesmo porque, anteriormente este processo era realizado de forma presencial e manual.

Sendo assim, através dos dados enviados pelo sensor, bem como, a apresentação do estado (ligado/desligado) pela plataforma Adafruit IO ou MQTTDash, levou ao usuário de forma remota a possibilidade de acionar ou desacionar a iluminação, tendo como base os valores apresentados, a fim de manter o período de fotossíntese e escuridão.

O acionamento da irrigação tem a finalidade de levar ao usuário de forma remota, o poder de ligar e desligar o dispositivo mediante aos valores recebidos da plataforma.

Um ponto importante está na alternância no período de acionamento e desacionamento da bomba. Essa ação resulta na oxigenação da solução que acontece na queda d'água ao se movimentar, o que até então era realizada de forma manual e presencial.

Referente ao módulo ESP8266 NodeMCU, durante os testes o microcontrolador gerenciou os dispositivos de forma consistente, sem apresentar oscilações, tanto no que se refere a conexão *WiFi*, quanto na integração com a plataforma Adafruit IO.

Cabe ressaltar, que devido o serviço utilizado neste projeto pela plataforma Adafruit IO, foi a versão gratuita e por isto apresentou limitação como: limite máximo de troca de mensagens por minuto e número limitado de dispositivos (sensores/atuadores) conectados ao painel. A solução em caso de necessidade do uso de mais dispositivo, é optar pela solução paga, onde são ofertados maior número de dispositivos e acessos maiores.

Contudo durante os testes, observou-se duas falhas:

- a) nas conexões (*jumpers*) entre a placa e dispositivo, que em muitas vezes para se comunicar, o que neste caso se sugere o desenvolvimento de uma placa de circuito impresso própria para o equipamento;
- b) referente a bomba de irrigação, que em sua especificação há a garantia de uma vazão capaz de levar a solução a 70cm de altura em uma coluna d'água de 10mm de secção, mas que, devido a sua baixa potência de 3W, conseguiu apenas uma coluna de 30cm.

Para isso foi necessário erguer o tanque 40cm do chão. A solução definitiva seria uma bomba de maior potência.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste projeto, realizou-se um estudo de caso de um sistema automatizado para cultivo hidropônico, com luz artificial de baixa escala, em que foram mostradas as etapas de construção, implantação e sua utilização. Isto oferece uma alternativa para quem deseja começar seu cultivo, mesmo em espaços limitados, baixa luminosidade e pouca disponibilidade de tempo pelo usuário.

Conforme demonstrado nas fases de resultado e análise, este projeto alcançou todas as etapas definidos nos seus objetivos específicos, e conseqüentemente, alcançou seu objetivo geral e os resultados esperados. Contudo, observou-se na fase de análise algumas falhas que necessitaram de ajustes, as quais foram relatadas ao longo do trabalho, mas que não comprometeram o resultado.

Sendo assim, este projeto possibilita uma vasta gama de expansões e modificações.

Como trabalhos futuros, pode-se elencar a ampliação de sensores como: sensor de pH e sensor de condutividade, para melhor controle da solução nutritiva; o controle automático da luminosidade, através da aplicação de um algoritmo, utilizando bibliotecas de controle do tempo pela internet, em conjunto com valores recebidos pelo sensor de luminosidade, em comparação com a hora do dia, ou ainda, com o fechamento total da estufa, para que possa controlar de forma mais adequada os níveis de temperatura e umidade. Implantação de um sensor de nível para o reservatório, gerando melhor controle da solução nutritiva no cultivo.

Este projeto possibilita diversas formas de expansão, de forma que se adeque melhor a cada usuário.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBOSA, G. L. *et al.* Comparison of land, water, and energy requirements of lettuce Grown using hydroponic vs. Conventional agricultural methods. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, USA, 16 jun. 2015. Disponível em: <https://mdpi.com/1880-4601/12/6/6879>. Acesso em 20 mar. 2022.

BEZERRA NETO, Egídio. **Hidroponia**. 2017. 92 f. Tese (Doutorado). Curso de Bioquímica Vegetal, Conselho Regional de Engenharia e Agronomia – Crea/Pe, Recife, 2017. Disponível em: <https://docplayer.com.br/32286010-Hidroponia-egidio-bezerraneto.html>. Acesso em: 29 abr. 2022.

CARLET, Marcelo Anderson. **Automação de horta hidropônica utilizando Microcontrolador Arduino**. 2020. 86 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Tecnologias Computacionais para o Agronegócio, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2020. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/25460/1/automacaohortahidronicamiicrocontrolador.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2022.

EMBRAPA. **Bem-estar animal na produção de suínos**. EMBRAPA: 2017a. Disponível em: <https://www.embrapa.br/qualidade-da-carne/carne-suina/producaode-suinos/bem-estar-animal>. Acesso em: 26 abr. 2022.

EMBRAPA. **Manual de Segurança e Qualidade para a Avicultura de Postura**. 2004. EMBRAPA. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/111866/manual-de-seguranca-e-qualidade-para-a-avicultura-de-postura>. Acesso em: 25 abr. 2022.

EMBRAPA. **Piscicultura**. EMBRAPA: 2017b. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/1354377/29102107/Roger+Cresc%C3%A0ncio+-+Sistema+de+cultivo+intensivo+de+tambaqui.pdf/0dbdb713-434c-2f99-4685-2c1db286d37b?version=1.0>. Acesso em: 26 abr. 2022.

FAO, FIDA, UNICEF, PMA y OMS. **El estado de La seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo. Fomentando La resiliencia climática en aras de La seguridad alimentaria y La nutrición**. Roma: FAO, 2018. Disponível em: <https://www.fao.org/3/19553ES/i9553es.pdf>. Acesso em: 19 mar. 2022.

GREHS, Daniel Henrique. **Sistema de irrigação doméstico baseado em Internet das Coisas**. 2016. 55 f. Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia de Computação, Instituto de Informática, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/147673>. Acesso em: 12 abr. 2022.

GUEDES, Guilherme Maciel. **Casa 4.0: Estudo de Funcionalidades que uma automação residencial interativa proporciona**. 2021. 51 f. Monografia (Graduação) - Curso de Tecnólogo em Automação Industrial, Universidade Estadual do Rio Grande do Sul - UERGS, Porto Alegre, 2021. Disponível em: <https://repositorio.uergs.edu.br/xmlui/handle/123456789/1892>. Acesso em: 13 abr. 2022.

MAKISHIMA, Osmar A. Carrijo Nozomu. **Princípios de Hidroponia**. 2000. 28 f. Folheto - Curso de Hidroponia, Embrapa, Brasília, 2000. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/769981/principios-dehidroponia>. Acesso em: 20 mar. 2022.

MELO, Roseli Freire de *et al.* **Pesticidas e seus impactos no ambiente**. 2010. 35 f. Curso de Agrotóxicos, Embrapa, Brasília, 2010. Cap. 4, p. 101-136. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/875500/pesticidas-eseus-impactos-no-ambiente>. Acesso em: 18 Mar. 2022.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2018). **World Urbanization Prospects: The 2018 Revision, File 06**. Online Edition. Disponível em: <https://population.un.org/wup/Download/>. Acesso em: 18 mar. 2022.

OLIVEIRA, Bruno Nunes de. **Monitoramento de temperatura, condutibilidade e pH na água para cultivo hidropônico através de IoT**. 2020. 46 f. Monografia (graduação) - Engenharia Elétrica, Campus Universitário da Região dos Vinhedos, da Universidade de Caxias do Sul, Bento Gonçalves, 2020. Disponível em: <https://repositorio.uergs.edu.br/11338/8853>. Acesso em: 4 abr. 2022.

PATEL. Neil. **O que é Dashboard: Os 3 tipos, como fazer o seu e 4 ferramentas**. 2022. Disponível em: <https://neilpatel.com/br/blog/dashboard-o-que-e/>. Acesso em: 15 maio 2022.

PEIXOTO, Carlos Eduardo Gonçalves. **Estudo de sistema automatizado para cultivo hidropônico com luz artificial de baixa escala**. 2022. 71 f. Monografia (Graduação) - Curso de Tecnólogo em Automação Industrial, Universidade Estadual do Rio Grande do Sul - Uergs, Porto Alegre, 2022. Disponível em: <https://repositorio.uergs.edu.br/xmlui/handle/123456789/2263>. Acesso em: 30 jun. 2023.

PEIXOTO, João Alvarez. **ESP8266 NodeMCU: do pisca led à internet das coisas**. Porto Alegre: Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (Uergs), 2021. 201 p. Disponível em: <https://pt.calameo.com/books/005647350c64b126c49b1>. Acesso em: 10 abr. 2022.

PEXELS. **Hidropônico**. 2022. Disponível em: <https://www.pexels.com/ptbr/foto/agricultura-frescura-frescor-estufa-4199758/>. Acesso em: 05 jul. 2022.

PLASTILIT. **O que é Cap de PVC?** 2022. Disponível em: <https://www.plastilit.com.br/produtos/id/19/Cap-Soldavel>. Acesso em: 11 maio 2022.

ROMAN, Erivelton Scherer *et al.* **Como Funcionam os Herbicidas**. 2005. 152 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Herbicidas, Embrapa, Brasília, 2005. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/1355291/12492345/Como+funcionam+os+herbicidas/954b0416-031d-4764-a703-14d9b28b178e?version=1.0>. Acesso em: 18 mar. 2022.

ROSAS, Fátima. **O que é protoboard e para que serve?** 2022. Disponível em: <http://www.nuted.ufrgs.br/oa/imde/files/mod3-prototipagem-eletronica.pdf>. Acesso em: 12 maio 2022.

SANTIAGO, Emerson. **Renda Per Capita. 2006:Curso de Economia. Infoescola Navegando e Aprendendo**, Brasília, 2006. Disponível em: <https://www.infoescola.com/economia/renda-per-capita/>. Acesso em: 31 mar. 2022.

SOUZA, Elton Soares de. **Controle de Sistema Hidropônico utilizado a Técnica de Fluxo Laminar de Nutrientes**. 2010. 77 f. Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade São Francisco, Itatiba, 2010. Disponível em: <http://lyceumonline.usf.edu.br/salavirtual/documentos/1901.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2022.

TECHTUDO. **Firmware: o que é e como atualiza?** Disponível em: <https://www.techtudo.com.br/noticias/2014/04/firmware-o-que-e-e-comoatualizar.ghtml>. Acessado em: 22 abr. 2022.

TELEMUNDI (Brasil). **Qual a diferença entre Roteador, Access Point e Repetidor**. 2019. Disponível em: https://telemundi.com.br/wpcontent/uploads/2019/01/access_point.jpg. Acesso em: 24 abr. 2022.

VELOSO, Artur F. da S.; RODRIGUES, Antônio A.; SILVA, Halysson C; OLIVEIRA, Davi L. de; OLIVEIRA, Regenildo G. de; FREDERICSOM, Jorge; SENA, Ayrton P.; SOBRAL, José V. V. **Implementação de um controle em Real-Time para sistemas Hidropônicos NFT e Aquapônicos utilizando Broker MQTT e tecnologias IoT**. 2018. 6 f. Artigo Científico- Curso de Ciências da Computação, Faculdade Federal do Piauí: Piauí, 2018. Disponível em: https://scholar.google.com.br/citations?view_op=view_citation&hl=pt-BR&user=IMhEzD8AAAAJ&citation_for_view=IMhEzD8AAAAJ:zYLM7Y9cAGgC. Acesso em: 10 abr. 2022.

20

ESTUDO EM MANUTENÇÃO DE TRANSPORTADORES BASEADO EM ESTIMATIVA DE FALHAS, A PARTIR DE RECURSOS DE AUTOMAÇÃO

Giácomo Souza Tavares

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo sintetiza o trabalho de conclusão de curso de Tavares (2023), ao estudar as estimativas de falhas em sistemas transportadores, com recursos de sistemas automatizados.

Em processos de manufatura, tão importante quanto as máquinas que produzem o produto, são os transportadores, cuja função é garantir o fluxo do processo a que um produto deve passar dentro de um sistema fabril. Assim como em sistemas logísticos, em que os transportadores dão conta da movimentação de produtos, a fim de colocá-los na devida rota.

De acordo com a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) no disposto da norma regulamentadora NBR 6177, define transportador de correia ou abreviadamente "TC" (*belt conveyor* ou *BC*) como:

Um arranjo de componentes mecânicos, elétricos e estruturas metálicas, consistindo em um dispositivo horizontal ou inclinado (ascendente ou descendente) ou em curvas (côncavas ou convexas) ou, ainda, uma combinação de quaisquer destes perfis, destinado à movimentação ou transporte de materiais a granel, através de uma correia contínua com movimento reversível ou não, que se desloca sobre os tambores, roletes e/ou mesas de deslizamento, segundo uma trajetória predeterminada pelas condições de projeto, possuindo partes ou regiões características de carregamento e descarga (ABNT, 1999).

Segundo Groover (2011) um transportador é um aparato mecânico para mover itens ou materiais de grande volume. São utilizados quando materiais necessitam ser movidos em grandes quantidades.

O registro das primeiras correias transportadoras nos remete à Inglaterra da segunda metade do século XVIII, resultado dos avanços tecnológicos da Revolução Industrial. No início, eram construídas com lonas, couros ou borrachas, que deslizavam sobre superfícies planas de madeira (Mercúrio, 2022).

Transportadores de correia vem sendo utilizados há décadas para transportar grandes quantidades de materiais em longas distâncias. Os transportadores provaram várias vezes serem um método confiável e econômico para o movimento de materiais. (Swindeerman *et al.*, 2022). E assim como as máquinas de manufatura, os transportadores são suscetíveis à necessidade de manutenção.

A manutenção é um conjunto de atividades que tem como objetivo de manter o pleno funcionamento de máquinas e equipamentos para garantir a produtividade e qualidade dos produtos, bem como prevenir falhas e quebras de seus elementos (Selene, 2015).

Existem tipos distintos de manutenção: manutenção corretiva, manutenção preventiva, manutenção preditiva e manutenção detectiva. Os tipos de manutenção são qualificados conforme a maneira como é realizada a intervenção em um equipamento.

Segundo Kardec e Nascif (2009) manutenção preditiva é aquela que indica a necessidade de intervenção com base no estado do equipamento. Essa avaliação se dá através de medição, acompanhamento ou monitoração dos equipamentos.

Equipamentos que tem regime de trabalho de 24 horas por dia estão sujeitos a quebra por falta de manutenção. Dependendo do ramo de atuação da empresa, essa parada pode gerar grandes perdas de produtividade, afetando o ciclo produtivo de uma empresa. Contudo, mesmo que a empresa tenha uma boa gestão de manutenção, falhas acontecem nos equipamentos.

Com o avanço da automação, novas formas de tecnologia surgem, com isso surgem novas formas de controlar o funcionamento dos equipamentos, garantido um funcionamento prolongado e sem surpresas durante seus ciclos de trabalho. E assim, se consegue fazer uma manutenção planejada, antes que a falha ou quebra do equipamento ocorra, reduzindo custos para a empresa e agregando valor final ao seu produto.

Prever o momento em que uma falha irá ocorrer é um problema que permeia todos os sistemas produtivos. E nos sistemas transportadores é mais evidente e problemático, já

que sua função é movimentar o produto de uma estação a outra. Sua parada por necessidade de manutenção onera tanto a estação que vem antes do transportador, como a estação que vem depois. Desta forma, a previsão de falhas em sistemas transportadores se apresenta como um problema que carece de ser investigado e justifica sua solução, pela importância que representa aos sistemas de manufatura e logística.

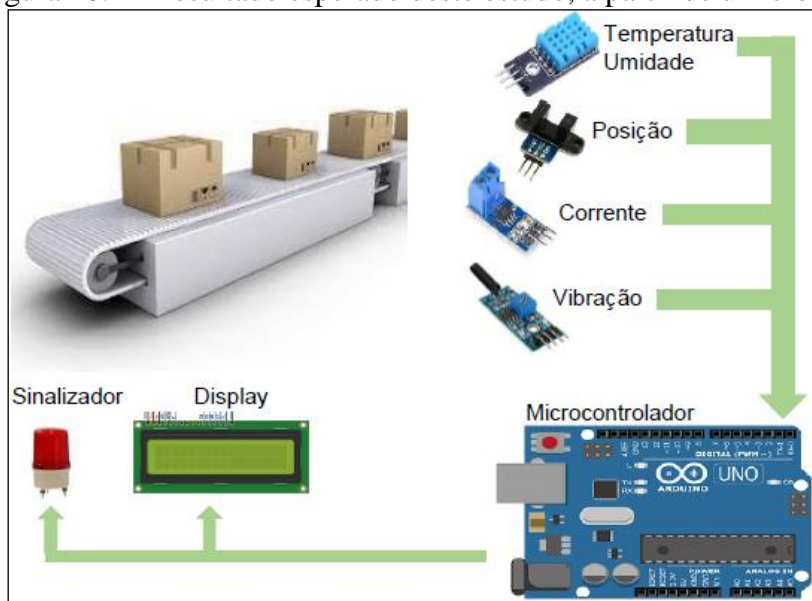
Um sistema automatizado de monitoramento de variáveis indicativas de falhas pode, a partir da análise de seu comportamento, indicar a tendência que irá ocorrer uma falha, permitindo a previsão da manutenção para um momento de menor impacto no processo produtivo, com maior eficiência.

Com a tentativa de encontrar soluções para a falhas, baseando se em equipamentos transportadores com recursos de automação, este capítulo abordará a implementação de um protótipo para averiguar a possíveis falhas que podem ocorrer neste tipo de equipamento, vindo a controlar o período para realizar a manutenção.

Este estudo tem como objetivo principal implementar uma prova de conceito para um modelo de transportador, capaz de monitorar variáveis críticas, estimando a possibilidade de falha do equipamento e capaz de indicar uma falha eminente ao operador, antes que a mesma ocorra, servindo como objeto de estudo para manutenções baseadas em previsão de falhas.

A Figura 20.1 apresenta os resultados esperados desta prova de conceito, a partir de um croqui.

Figura 20.1 - Resultado esperado deste estudo, a partir de um croqui



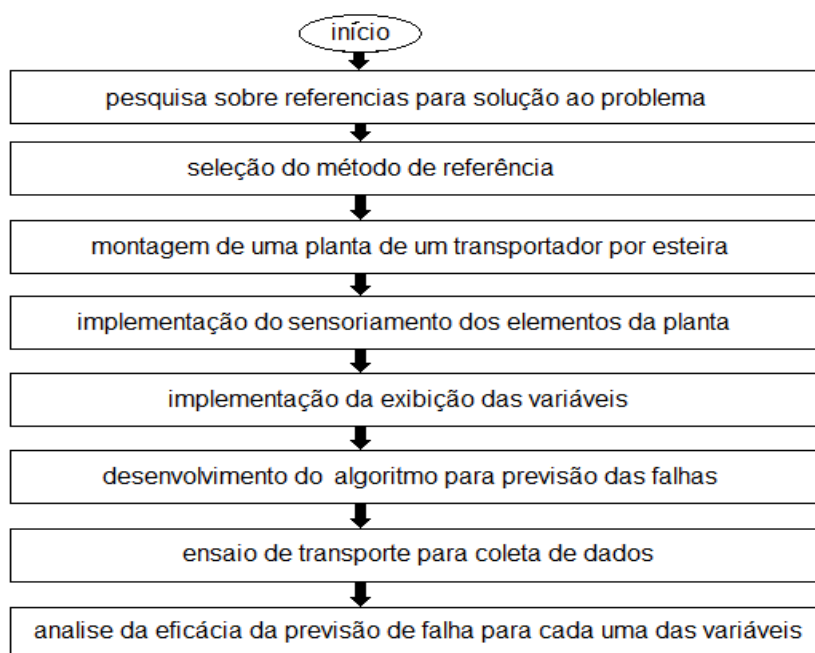
Fonte: Autor (2023).

2 METODOLOGIA

O método aplicado neste estudo se propõe ao fornecimento do caminho para que outras análises de predição de falhas ocorram, em outros sistemas de manufatura, com a devida adequação.

A Figura 20.2 apresenta um diagrama de blocos do método utilizado para predição e análise de falhas em sistemas transportadores, utilizado neste estudo.

Figura 20.2 – Método aplicado para predição e análise de falhas em sistemas transportadores



Fonte: Autor (2023).

O método aplicado neste estudo se divide em fases, sendo o descritivo de cada fase do método exposto a seguir:

- a) fase 1 – pesquisa sobre referenciais para solução ao problema: nesta fase inicial deve ocorrer a necessidade de uma pesquisa científica, buscando na literatura trabalhos sobre manutenção, esteiras transportadoras, sensores e tipos de falhas que possam ocorrer em equipamentos de manufatura;
- b) fase 2 – seleção do método de referência: nesta fase deve ocorrer a seleção do método de referência da pesquisa, que se refere à abordagem sistemática e aos procedimentos utilizados para coletar, analisar e interpretar os dados, que podem ser qualitativas ou quantitativas;

- c) fase 3 – montagem de uma planta de um transportador por esteira: nesta fase deve ocorrer a montagem de um sistema de esteira transportadora, em que possam ocorrer as variáveis que induzam as falhas, como por exemplo vibração no mancal e aquecimento nas conexões;
- d) fase 4 – implementação do sensoriamento dos elementos da planta: nesta fase deve ocorrer a instalação dos sensores em diferentes pontos nos componentes da planta, para coleta de dados e informações relevantes, a fim de identificar as anomalias que possam decorrer em mal funcionamento da planta;
- e) fase 5 – implementação da exibição das variáveis: nesta fase deve ocorrer a implementação de um sistema eletrônico para exibição das variáveis da planta, que podem ser de maneiras distintas, dependendo do sistema de monitoramento utilizado e das necessidades específicas, que podem ser painéis, telas de exibição, interfaces de *web*, aplicativos móveis, entre outros;
- f) fase 6 – desenvolvimento do algoritmo para previsão de falhas: nesta fase deve ocorrer a construção de um algoritmo para previsão de falhas, utilizando os dados monitorados por sensores, em que pode ser um processo complexo e depende do contexto específico e dos dados disponíveis da planta;
- g) fase 7 – ensaio de transporte para coleta de dados: nesta fase deve ocorrer o ensaio de transporte para coletar os dados sobre o desempenho e comportamento de um sistema de transporte, sendo esse ensaio é de suma importância para avaliar a eficiência, capacidade e outras características da planta relacionados ao transportador;
- h) fase 8 – análise da eficácia da previsão de falha para cada uma das variáveis: nesta fase deve ocorrer a realização da análise da previsão de falhas, que podem seguir algumas etapas para definir as variáveis relevantes, coleta de dados identificação das falhas, modelo de previsão, comparação de previsões com os dados reais, interpretação de resultados, ajustes e melhorias e validação dos resultados obtidos durante os experimentos.

3 RESULTADOS E ANÁLISE

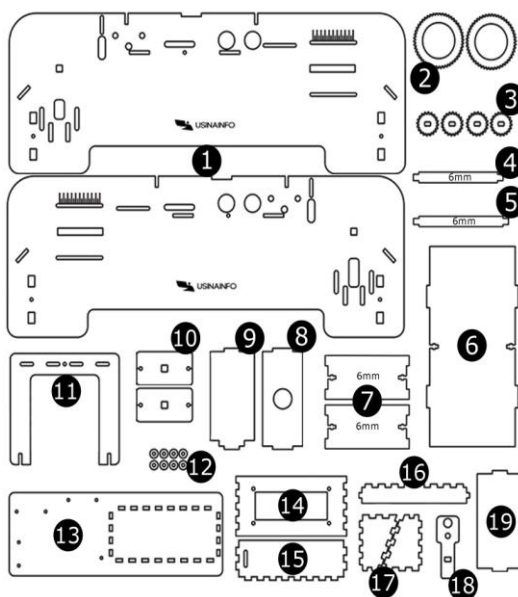
Para validação da hipótese proposta, o método apresentado no capítulo anterior é executado, em cada uma de suas fases.

Na fase 1, foi realizado leituras de outros trabalhos, para buscar o maior número de informações sobre os problemas que ocorrem com os equipamentos de manufatura como as esteiras transportadoras. A busca por trabalhos se deu no repositório de trabalhos acadêmicos da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS, em seu endereço eletrônico <https://repositorio.uergs.edu.br/xmlui/>, no endereço eletrônico da empresa Tractian <https://tractian.com/produto/sensor-vibracao/analise-de-vibracao>, nos endereços dos seguintes repositórios de trabalhos acadêmicos de outras universidades, como: Universidade Federal de Uberlândia - UFU <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/26371>; Instituto Federal do Espírito Santo – IFES <https://repositorio.ifes.edu.br/handle/123456789/2905> e Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/243320>.

Na fase 2, a seleção dos métodos de referência fora utilizados trabalhos qualitativos em relação ao método e exploratórios em relação aos objetivos.

Na fase 3, desenvolver protótipo da esteira transportadora, foram utilizados materiais de MDF (Placa de Fibra de Média Densidade) cortada a laser, com encaixes e posições com furação para montagem da estrutura física da esteira transportadora. Em alguns pontos específicos são utilizados porcas e parafusos para fixação da estrutura da esteira transportadora. Para representar os roletes da esteira transportadora foram utilizados tubos de PVC com rolamentos. A Figura 20.3 apresenta o conjunto de peças utilizadas para montagem da estrutura da esteira.

Figura 20.3 – Conjunto de peças para montagem da estrutura da esteira transportadora

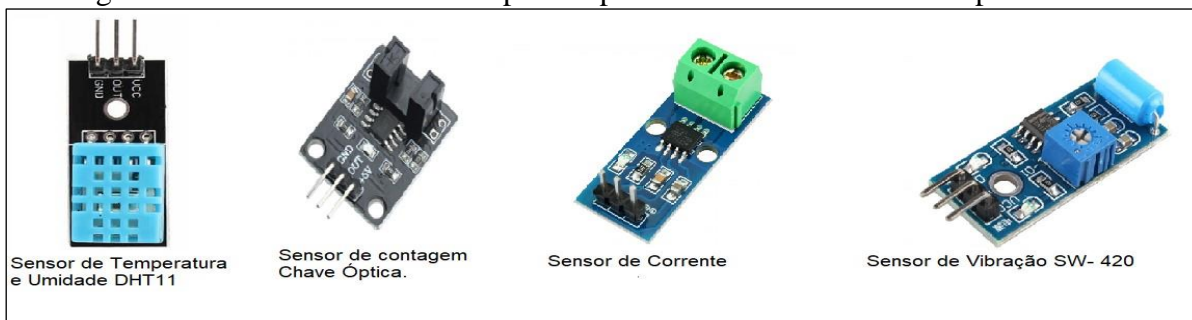


Fonte: Usina Info (2023).

Para confecção da correia foi utilizado um material elastano. O motor utilizado para movimentar a correia da esteira transportadora é um motor de corrente contínua de 3V a 6V, com caixa de redução, sendo a velocidade comandada através de um *driver* controlador para motor DC IRF520, que possibilita o controle *PWM*⁴⁸ de velocidade e a alteração de estado ligado e desligado do motor.

Na fase 4, implementação do sensoriamento dos elementos da planta foi utilizado o módulo sensor de temperatura e umidade DHT11, para sensoriar a temperatura e umidade da esteira transportadora. O sensor de contagem 5mm ou chave óptica foi utilizado para detectar a posição de trabalho da correia, ou seja, se ela está alinhada ou não com os roletes da esteira transportadora. O sensor de corrente elétrica ACS712 foi utilizado para verificar a corrente elétrica do motor que aciona a esteira transportadora. O sensor de vibração SW-420 foi utilizado para monitorar a vibração dos rolamentos da esteira transportadora. Todos os sensores foram alimentados e conectados nas suas respectivas entradas dos pinos do módulo microcontrolador Arduino e utilizando as bibliotecas apropriadas. A Figura 20.4 apresenta os sensores utilizados para implementar essa fase do método.

Figura 20.4 – Sensores utilizados para implementar a fase do método aplicado



Fonte: Autor (2023).

Na fase 5, para implementação da exibição das variáveis foi utilizado um *display* LCD 16x2 e adaptador I2C, que possui a capacidade de diminuir o número de portas digitais utilizadas pela placa microcontroladora Arduino Uno.

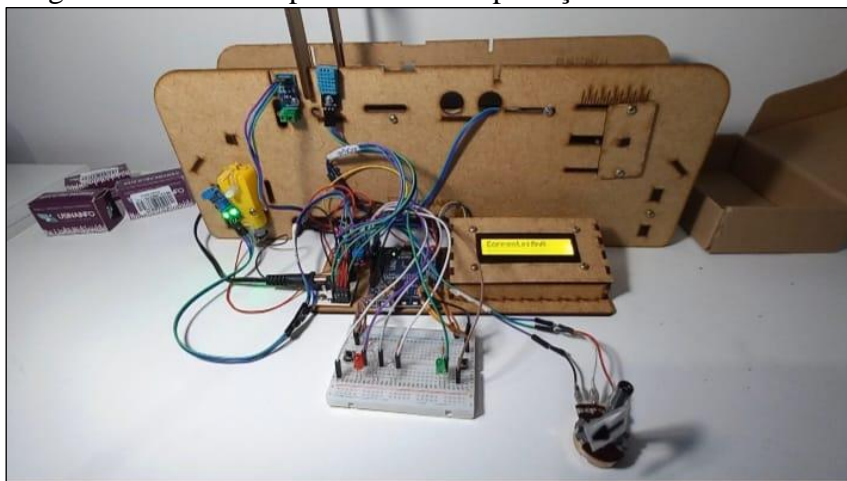
Na fase 6, o desenvolvimento do algoritmo para previsão de falhas, foi escrito em linguagem C. O algoritmo para previsão de falhas dos sensores de corrente elétrica, temperatura e umidade foram desenvolvidos para acompanhar a variação de valores na

⁴⁸ PWM - (*Pulse Width Modulation*) refere-se ao conceito de pulsar rapidamente um sinal digital em um condutor. Além de várias outras aplicações, esta técnica de modulação pode ser utilizada para simular uma tensão estática variável e é comumente aplicada no controle de motores elétricos, aquecedores, LEDs ou luzes em diferentes intensidades ou frequências (Citisystems, 2023).

planta. O algoritmo para sensor de vibração foi desenvolvido para verificar se tem ou não vibração na planta, quando este sensor é acionado um LED fica ligado para ajudar na identificação da falha. O algoritmo do sensor de chave óptica foi desenvolvido para verificar se o emissor e receptor infravermelho está recebendo o sinal em suas extremidades. Quando esse sinal é interrompido, significa que a correia está fora de posição ou desalinhada e um LED acenderá para identificar a falha. Quando os sensores estão acionados, o algoritmo envia uma mensagem para ser lida na tela do *display* LCD.

Na fase 7, no ensaio de transporte para coleta de dados, foi ligado a planta e testados os sensores. O sensor de umidade e temperatura foi testado com um soprador de calor, para variar a temperatura do ambiente, assim alterando os valores de temperatura. O vapor da água quente foi utilizado próxima ao sensor para variar a umidade. O sensor de posição foi instalado na borda da correia transportadora. Para acionar o sensor de posição foi feito um desalinhamento no mancal da esteira para desalinhar a correia e acionar o sensor de posição. O sensor de vibração foi instalado junto ao motor da esteira transportadora, no eixo do motor foi colocado uma abraçadeira de nylon e uma trava na parte superior do motor, a fim de simular a vibração no motor, fazendo com isso acionar o sensor de vibração. A Figura 20.5 apresenta a planta e a forma com que as falhas forma simuladas.

Figura 20.5 – Planta para ensaios de predição de falhas montada



Fonte: Autor (2023).

Na fase 8, a análise da eficácia da previsão de falha para cada uma das variáveis foi realizada ao colocar a planta a rodar e simular as falhas, uma a uma, para coletar os dados registrados pelos sensores, incluindo os dados normais de operação.

Para simular a temperatura dos mancais foi utilizado um soprador de calor por um tempo determinado até atingir o limite de temperatura do sensor.

Na simulação de umidade foi utilizado um copo com água fervida e colocado próximo ao sensor, para detectar o vapor de água quente que estava saindo do copo, assim alterando os valores de umidade.

Para a simulação do sensor de posição, que detecta se a correia esta alinhada com os roletes da esteira transportadora, foi propositalmente desalinhado o rolete da esteira transportadora para haver um desnivelamento, fazendo assim com que a correia viesse a desalinhar se para acionar o sensor de posição.

Na simulação do sensor de vibração, o sensor foi fixado junto ao motor da esteira transportadora, na parte externa do eixo foi instalado uma abraçadeira de nylon junto a esse eixo externo e travado por uma haste de madeira, ocorrendo assim uma vibração no conjunto todo e acionando o sensor de vibração. Essa vibração não detecta valores, mas sim se existe ou não uma vibração excessiva no conjunto, onde foi instalado o sensor de vibração.

Durante o sensoriamento da corrente elétrica ocorreram variações dos valores apresentados no *display LCD*, em comparação aos lidos no multímetro. Assim, não foi possível obter valores reais da corrente elétrica utilizando o sensor. O Quadro 20.1 apresenta os dados obtidos durante os experimentos.

Quadro 20.1- Dados obtidos durante a realização do experimento da planta de transporte com predição de falhas

Variável monitorada	Forma de simulação	Valores indicados Situação normal (N), Situação alterada (A)
Temperatura dos mancais.	Utilizado um soprador térmico.	N: Temperatura de Trabalho A: Temperatura alta
Umidade da planta.	Névoa de água quente sobre a esteira.	N: Umidade ambiente A: Umidade Alta
Posição da esteira.	Roleta desalinhado para desalinhar a correia.	N: Esteira Alinhada A: Esteira desalinhada
Corrente do motor.	Sobre carga na esteira transportadora para força o motor.	N: Corrente Nominal A: Picos de Corrente
Vibração nos eixos.	Utilizado uma abraçadeira de nylon travada no eixo.	N: Sem vibração A: Com Vibração

Fonte: Autor (2023).

Com a aplicação de métodos e técnicas similares, utilizados em projetos expostos anteriormente em referências, como o monitoramento de vibração, foi possível a implementação de uma planta de esteira transportadora baseado em estimativa de falhas

através de recursos de automação para detectar o impacto na predição de falhas de um sistema de manufatura, como as esteiras transportadoras.

O Quadro 20.2 apresenta a diferença relativa entre os valores desejados e os valores alcançados na execução dos experimentos, junto à prova de conceito.

Quadro 20.2 - Diferença relativa entre valores desejados e os valores alcançados

Variável monitorada	Situação Normal	Situação Alterada	Impacto desta informação na predição de falha
Temperatura dos mancais.	25°C.	50°C.	Tomada de decisão para realizar a manutenção no equipamento.
Umidade da planta.	Até 90 %.	Acima de 90%.	Aumento da vida útil dos equipamentos dos transportador.
Posição da esteira.	Alinhada.	Desalinhada.	Aumento da vida útil da correia transportadora.
Vibração nos eixos.	Sem Vibração.	Com Vibração.	Tomada de decisão para realizar a manutenção no equipamento.

Fonte: Autor (2023).

Com o sensoriamento, pode se analisar as alterações das variáveis e a situação de trabalho se estava normal ou anormal, em tempo real onde estavam posicionados os sensores na esteira transportadora. A análise dos valores mostra que todas as ações realizadas pelos sensores se tornaram mais eficientes, tendo em vista o sensoriamento atual em tempo real, facilitando a visualização dos dados no *display* LCD, em que a informação de dados é exibida, e uma programação de manutenção mais exata.

Durante o sensoriamento da corrente elétrica ocorreram variações dos valores apresentados no *display LCD*, em comparação aos lidos no multímetro, pois a sensibilidade do sensor ASC712 – 30A, varia em 66 mV/A, ou seja, os valores acabam sendo distorcidos. Com isso foi utilizado um potenciômetro para simular a variação da corrente elétrica do motor, baseado nas medições da corrente elétrica aferidas com um multímetro, chegando ao valor máximo de corrente elétrica de 250mA.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho realizou-se um estudo de caso para manutenção em transportadores baseado em estimativa de falhas, a partir de recursos de automação de baixa escala, em que foram mostradas as etapas de construção, implantação e sua simulação de falhas.

De uma maneira geral, este trabalho obteve resultado satisfatório na maioria dos objetivos especificados, ou seja, na leitura dos valores de temperatura, umidade, na detecção de vibração e na detecção da posição da correia.

O que não foi satisfatório foi a utilização do sensor de corrente elétrica ACS712 30A AC/DC, item esse que deve ser substituído por um sensor com menor sensibilidade, para detectar os valores mais próximo da corrente elétrica real.

Durante as pesquisas realizadas, não se encontrou trabalho com eletrônica embarcada, e sim equipamentos industriais com monitoramento das grandezas de temperatura, corrente elétrica, detecção de vibração e posicionamento da correia durante o trabalho, gerando identificação de possíveis falhas, sendo então este trabalho um projeto base para um sistema mais complexo de manutenção de transportadores baseado em estimativa de falhas, a partir de recursos de automação, servindo para futuros estudos de aperfeiçoamento, podendo ser utilizado em outros equipamentos de manufatura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6177:1999**: Transportadores contínuos - transportadores de correia - terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 1999.

CITISYSTEMS. **O que é PWM e Para que serve?** 2023. Disponível em: <https://www.citisystems.com.br/pwm/>. Acesso em: 25 mai. 2023.

GROOVER, Mikell P. **Automação Industrial e Sistemas de Manufatura**. 3. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.

KARDEC, Allan; NASCIF, Júlio. **Manutenção: função estratégica**. 3. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

MERCURIO. **Conheça a história das Correias Transportadoras**. 2022. Disponível em <https://www.correiasmercurio.com.br/historia-das-correias-transportadoras>. Acesso em: 10 mar. 2023.

SELEME, Robson. **Manutenção Industrial: Mantendo a fábrica em funcionamento**. 1. ed. Curitiba: Intersaberes, 2015.

SWINDERMAN, Todd; MARTI, Andrew D.; GOLDBECK, Larry J.; MARSHALL, Daniel; STREBEL, Mark G. **FOUDANTIOS: Guia Prático para um Controle mais Limpo, Seguro e Produtivo de Pó e Material a Granel**. 4.ed. Campinas: Martin Engineering Brasil, 2022.

TAVARES, Giacomo Souza. **Estudo em manutenção de transportadores baseado em estimativa de falhas, a partir de recursos de automação.** 2023. 42 f. Monografia (Graduação) - Curso de Tecnólogo em Automação Industrial, Universidade Estadual do Rio Grande do Sul - Uergs, Porto Alegre, 2023. Disponível em: <https://repositorio.uergs.edu.br/xmlui/handle/123456789/2895>. Acesso em: 30 ago. 2023.

SOBRE OS AUTORES



Adriano Leite Evangelista

Possui graduação em Automação Industrial pela Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS). Técnico em Mecânica de Precisão pela instituição Senai CETEMP. Atualmente é analista de ferramentaria - Taurus Armas S/A. Tem experiência na área de Robótica, Mecatrônica e Automação, com ênfase em Robótica, Mecatrônica e Automação

E-mail: leiteevangelistasl@gmail.com

Currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/4191450800728908>

Instagram: [@adrianoledano](https://www.instagram.com/adrianoledano)



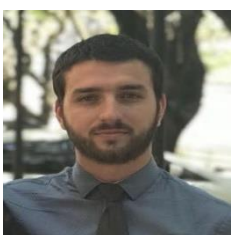
Adriano dos Santos Mathes

Possui graduação em Tecnologia em Automação Industrial pela Universidade Estadual do Rio Grande do Sul- UERGS. Cursando Pós-graduação em Gestão da Manutenção na Faculdade Serra Geral. Formação Técnica em Mecânica pela Escola Estadual Parobé. Atualmente atua como mecânico de manutenção - GESTAMP BRASIL INDUSTRIA DE AUTOPEÇAS, com foco em melhorias

de processos, reforma de equipamentos, otimização de linhas de produção, através da automação de linhas de prensas excêntricas, hidráulicas e células robotizadas de soldagem. Tem experiência na área de construção e fabricação mecânica com ênfase em automação de processos de estampagem e soldagem a ponto de componentes metálicos estampados a quente e a frio.

E-mail: adrianomathes@hotmail.com

Currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/4843723999439761>



Bruno Luiz De Pizzol

Possui graduação em Tecnologia de Automação Industrial pela Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS (2019). Possui curso-técnico-profissionalizante em Técnico em Informática pela Universidade do Vale do Taquari – UNIVATES (2014) e ensino médio segundo grau pelo Colégio Estadual Vicente De Carvalho (2008).

E-mail: brunodepizzol@hotmail.com

Currículo lattes: <https://lattes.cnpq.br/1228069701344647>



Carlos Eduardo Gonçalves Peixoto

Possui graduação em Ciências da Computação pela Universidade Lasalle (2014) e graduação como Tecnólogo em Automação Industrial pela Universidade Estadual do RGS - UERGS (2022), também especializações em Docência para Ensino Superior (2018) e Redes de Computadores (2022), bem como formação técnica em Mecânica de Manutenção industrial pela escola SENAI (1992).

Atualmente exerce a atividade de Analista de Sistemas da Prefeitura Municipal de Viamão. Tendo experiência nas áreas da computação, mecânica e automação industrial, com ênfase em sistemas de computação, redes de computadores e automação.

E-mail: carlosgpeixoto1@gmail.com

Currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/1472807957323080>



Cristiano Schmidt da Cruz

Graduando do curso de Bacharel em Engenharia controle e automação pela Universidade Estadual do Rio Grande do Sul - UERGS. Graduado como Tecnólogo em Automação Industrial pela mesma instituição (2021), pós-graduado em Engenharia de produção (UNINTER), Formação Técnico em automação industrial pela Escola José Cezar Mesquita (2004) além de curso profissionalizante em

elétrica predial e industrial pelo SENAI (1998). Atuando na Área de projeto e processos na indústria metalmeccânica e eletroeletrônica desde o ano 2.000.

E-mail: cristianotk6@gmail.com

Currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/1480551293817268>



Daniel Altenhofer Linck

Possui graduação em Letras - Língua Portuguesa pelo Centro Universitário Metodista (2010). Com especialização em Produção e Revisão Textual pelo Centro Universitário Ritter dos Reis (2014). Graduado em Automação Industrial pela Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (2020). Com mais de sete anos de experiência atuando como revisor de textos, mais de um ano de experiência na

metalurgia na área de engenharia de processos e mais de dois anos de experiência na área da ciência da computação atuando como programador web. Graduação como Tecnólogo em Automação Industrial pela Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (2021).

E-mail: linck86@gmail.com

Currículo lattes: <https://lattes.cnpq.br/3188680768922592>

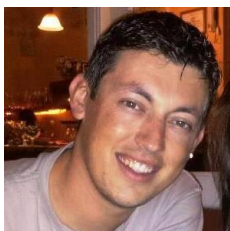


Élio Cardoso Júnior

Possui graduação como Tecnólogo em Automação Industrial pela Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (2021). Atualmente é técnico eletrônico de manutenção - Taurus Armas S.A. Tem experiência na área de manutenção eletrônica, com ênfase em automação eletrônica de processos elétricos e industriais.

E-mail: cardosoelio784@gmail.com

Currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/5805217151045657>



Felipe Haack

Possui graduação em Tecnologia de Automação Industrial pela Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS (2020). Possui ensino médio de segundo grau pelo Colégio Científico Porto Seguro de São Leopoldo (2003).

E-mail: felipe_haack@hotmail.com

Currículo lattes: <https://lattes.cnpq.br/7686708065032280>



Giacomo Souza Tavares

Possui graduação como Tecnólogo em Automação Industrial pela Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (2023).

E-mail: giacomost@hotmail.com

Currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/7362778126690585>



Guilherme Maciel Guedes

Possui graduação em Tecnologia da Automação Industrial pela Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (2021). Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Medidas Elétricas.

E-mail: guilherme.mguedes@hotmail.com

Currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/6056814404591207>



Guilherme Fernando Nery

Graduado em Tecnologia em Automação Industrial pela Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, UERGS. Foi integrante do grupo de pesquisa Centro de Estudos em Biorrefinarias (CESBIO). Atualmente é gerente em empresa do ramo de reciclagem, em que teve participação no desenvolvimento dos projetos dos equipamentos e maquinário utilizados para as operações dela, localizada em Cachoeirinha - RS.

E-mail: g.fnery@hotmail.com

Currículo lattes: <https://lattes.cnpq.br/4436122534077255>

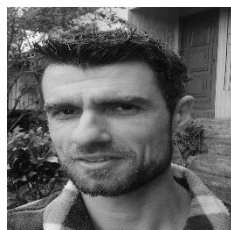


Gustavo Gregory

Possui graduação em Tecnologia em Automação Industrial pela Universidade Estadual do Rio Grande do Sul - UERGS. MBA em Engenharia de produção pelo Centro Universitário Internacional - UNINTER. Cursando atualmente Graduação em Engenharia de Controle e Automação na Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS.

E-mail: gustavogregory235eu@gmail.com

Currículo lattes: <https://lattes.cnpq.br/2425519558320595>



Henri de Araújo Andrade

Possui graduação em Tecnologia em Automação Industrial na Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, UERGS (2022). Possui curso técnico profissionalizante em Técnico em Mecânica de Precisão no SENAI - Departamento Regional do Rio Grande do Sul, SENAI/DR/RS (2001). Proprietário e Fundador da cervejaria Churras Bier, especializada em cervejas artesanais, desenvolvimento de

receitas que harmonizam com churrasco, gestão de vendas e marketing.

E-mail: henri8landrade@gmail.com - joao.alvarez.peixoto@gmail.com

Currículo lattes: <https://lattes.cnpq.br/7924793418384885>

Instagram: [@henri.andrade.3](https://www.instagram.com/henri.andrade.3)

Facebook: Henri Andrade



Prof. Dr. João Alvarez Peixoto

Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos (2005). MBA em Gestão estratégica de instituições de educação profissional e tecnológica pela Faculdade de Tecnologia SENAI Florianópolis. Mestre em Controle e Automação pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2012). Doutor em Controle e Automação pela Universidade Federal do Rio Grande do

Sul. Atuou no Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial SENAI com instrutor de nível técnico, como supervisor de educação e tecnologia. Atualmente atua como Professor Adjunto na Universidade Estadual do Rio Grande do Sul - UERGS. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Automação Eletrônica de Processos Elétricos e Industriais, sendo a especialidade em sistemas de manufatura automatizadas e virtuais.

E-mail: joao-peixoto@uergs.edu.br - joao.alvarez.peixoto@gmail.com

Currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/3242194031865969>

Currículo ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1218-0363>

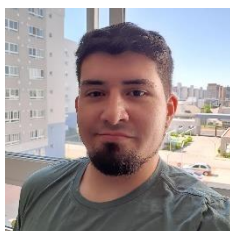


Jonas Gidion Crixel

Mestrando em Engenharia Elétrica pela Unisinos (2023) com Pós-graduado em Energias Renováveis pela UNIRITTER (2023) e cursando MBA em Gestão Estratégica de Energias Renováveis pela UFPR (2023/2). Graduado em Tecnologia da Automação Industrial pela UERGS (2019). Possui ainda graduação técnica em Polímeros pelo Instituto Federal Sul-Rio-Grandense (2009). Atualmente atua como consultor técnico comercial na área de gestão e gerenciamento de geração e distribuição de energia. Possui experiência na área de engenharia de energia, com ênfase em planejamento energético, gestão e geração de energia através de fontes renováveis e fontes não renováveis, desenvolvendo atividades de comercialização, análise de projetos e dimensionamento técnico e comercial de grupos geradores de energia, usinas fotovoltaicas, sistemas de energia e gerenciamento, bem como estudos de cogeração e aplicações a gás e biogás.

E-mail: crixel@gmail.com

Currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/4420753562200774>

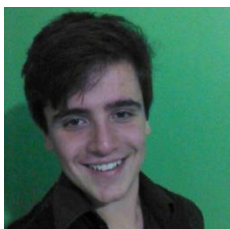


Lucas Cardozo Ferreira

Tecnólogo de Automação Industrial pela Universidade Estadual do Rio Grande do Sul formado em 2019, Atuando como Analista de Automação e com cerca de 4 anos de experiência na área.

E-mail: lucas.caca.cf@gmail.com

Currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/7784226919014189>



Lucas Lopes Paszinski

Formado em Tecnologia em Automação industrial pela Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS). Atua na área de Engenharia de *Software* e liderança técnica.

E-mail: lucaspaszinski@gmail.com

Currículo lattes: <https://lattes.cnpq.br/1166348008666050>



Rafael Pereira Gonçalves

Mestrando em STEM - PPG UERGS, Graduando do curso de Bacharel em Engenharia de Energia pela Universidade Estadual do Rio Grande do Sul - UERGS. Graduado em Automação Industrial pela mesma instituição (2021) e possui curso profissionalizante em Mecânica Industrial pelo SENAI (2013), além de um curso técnico em Eletrônica também pelo SENAI (2014). Dedicado em desenvolvimento na área, buscando constantemente cursos de aperfeiçoamento extracurriculares. Atualmente, atua profissionalmente na área da automação industrial na indústria metalúrgica. Também trabalha no Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial - SENAI como instrutor de nível técnico, com ênfase em mecatrônica, eletrônica, robótica e automação. Fundador da empresa RPG Eletroeletrônica e automação (MEI), na qual presto serviços de consultoria e soluções em automação e manutenção.

E-mail: rafael.pereira306@gmail.com

Currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/6105940112444209>

Linkedin: www.linkedin.com/in/rafael-goncalves-95124ba3

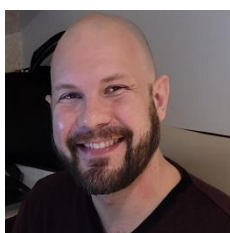


Rodrigo Bastos de Souza

Possui graduação em Tecnologia de Automação Industrial pela Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS. MBA em Manutenção Inteligente de Sistemas Industriais Complexos pela Faculdade de Tecnologia SENAI Porto Alegre. Técnico Eletrônico pela escola técnica José César de Mesquita de Porto Alegre. Atuou na área de testes em equipamentos, máquinas e manutenção em diversos segmentos industriais desde o início de sua carreira e atualmente trabalha na área técnica de empresa do setor automotivo. Tem larga experiência com manutenção industrial e automação de sistemas, além de prestação de serviços de instalação e reforma de máquinas e ferramentas de processos na indústria. Possui trabalhos acadêmicos com aplicações de sistemas de IoT e desenvolvimento de aplicativos *mobile*. Em suas horas de lazer estuda astronomia com especial foco em astrofotografia.

Contato: www.linkedin.com/in/rodrigo-bastos-de-souza-9353484a

Cel. +55 051 98543.9530

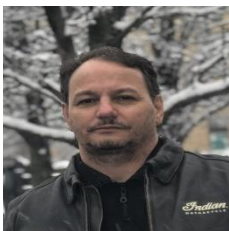


Rodrigo Vargas

Possui graduação em Automação Industrial pela Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (2021). Atualmente é *key account* na empresa HT Micron Semicondutores. Tem experiência em áreas de conhecimento de Engenharia Elétrica e de Automação Industrial, com ampla experiência em ensaios de transformadores/reatores de potência, gestão de projetos e em aplicação de bombas hidráulicas. A partir de 2023, vem ampliando o conhecimento em sistemas embarcados e de telecomunicações (IOT - Internet das coisas).

E-mail: rodrigovargas@live.com

Currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/2815413039687056>



Sidnei Borges de Oliveira

Possui graduação em Tecnologia da Automação Industrial pela Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (2020) e curso Técnico em Mecânica Industrial pelo Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha (1991). Atualmente é Técnico de Operações do Petróleo Brasileiro - Rio de Janeiro - Matriz. Tem experiência na

área de Engenharia Química, com ênfase em Tecnologia Química.

E-mail: easyrider68@gmail.com

Currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/9589424571433817>

