

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL
UNIDADE UNIVERSITÁRIA PORTO ALEGRE
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

GIÁCOMO SOUZA TAVARES

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

PORTO ALEGRE
2023

GIACOMO SOUZA TAVARES

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

Monografia a apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Automação Industrial na Universidade Estadual do Rio Grande do Sul.

Orientador: Prof. Dr. João Alvarez Peixoto.

PORTO ALEGRE

2023

Catálogo de publicação na fonte (CIP)

T231e Tavares, Giacomo Souza

Estudo em manutenção de transportadores baseado em estimativa de falhas, a partir de recursos de automação / Giacomo Souza Tavares. – Porto Alegre: Uergs, 2023.

43 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Curso Superior de Tecnologia em Automação Industrial, Unidade em Porto Alegre, 2023.

Orientador: Prof. Dr. João Alvarez Peixoto

1. Predição de Falhas. 2. Sensores. 3. Transportadores. 4. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). I. Peixoto, João Alvarez. II. Curso Superior de Tecnologia em Automação Industrial, Unidade em Porto Alegre, 2023. III. Título.

Catálogo elaborado pelo Bibliotecário Uergs - Marcelo Bresolin CRB10/2136

GIÁCOMO SOUZA TAVARES

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

Monografia a apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Automação Industrial na Universidade Estadual do Rio Grande do Sul.

Orientador: Prof. Dr. João Alvarez Peixoto.

Aprovado em: 04 / 07 / 2023

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. João Alvarez Peixoto
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul - UERGS

Prof. Me. Emerson Fernandes da Cunha
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul - UERGS

Prof. Dr. André Borin Soares
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul - UERGS

PORTO ALEGRE

2023

Dedico este trabalho a minha família que me deu o apoio necessário em todos os momentos e as pessoas que de alguma forma contribuíram para completar essa realização.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha esposa Suzana, que sempre me apoiou, me encorajou e assumiu compromissos para que eu pudesse dar continuidade aos meus estudos, e que está sempre ao meu lado, principalmente nos momentos em que pensava em desistir. Sem este apoio não teria chegado a este momento.

Agradeço também a minha família, minha mãe Marilu e irmãos, que tanto me apoiam e confiam na minha capacidade, e sempre me ajudaram.

Agradeço também a meu sogro e minha sogra, que tanto me apoiam e confiam na minha capacidade, e sempre me ajudaram.

Agradeço a todos os colegas de curso, os quais tive o grande prazer de conviver, ao longo de minha vida acadêmica e que diversas vezes me ajudaram na solução de dúvidas.

Agradeço aos funcionários da UERGS do campus de Porto Alegre.

Agradeço a todos os professores que sempre se empenharam em oferecer o seu melhor.

Ao meu orientador prof. Dr. João Alvarez Peixoto, que ao longo do curso sempre esteve presente e disposto, nos auxiliando, incentivando e instigando para dar-nos nosso melhor. Também agradecer por toda ajuda e que norteou o desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

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. A previsão de falhas em sistemas transportadores se apresenta como um problema que carece de investigação 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 apontar a tendência de ocorrência de uma falha, permitindo a previsão da manutenção para um momento de menor impacto no processo produtivo, com maior eficiência. No presente projeto, a placa utilizada é a Arduino Uno Rev3. Ela possui quantidade de portas (entrada/saída) suficientes para a criação de protótipos com vários sensores e módulos conectados. O resultado esperado é um modelo de transportador por esteira, implementado na forma de prova de conceito, que monitore as variáveis de temperatura, umidade, posição, corrente elétrica e vibração, análise do comportamento destas variáveis e estime a falha no processo, permitindo o estudo de manutenções a partir de estimativa real de falha. A pesquisa possui o caráter qualitativo, pois, para avaliação foram implementados no sistema, dispositivos de monitoramento de temperatura, umidade, posição, corrente e vibração. De forma que serão aferidas as funcionalidades que estes dispositivos oferecem no estudo em manutenção baseado em estimativa de falhas. Para este estudo serão consideradas as máquinas envolvidas em operações de transporte nos sistemas de manufatura, com foco em transportadores por esteiras, identificando as possíveis falhas que podem ser evitadas, face a predição de ocorrência das mesmas. 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. 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 que o sensoriamento é em tempo real. 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.

Palavras-chaves: Sensores. Predição de Falhas. Transportadores.

ABSTRACT

With the advance of automation, new forms of technology are arising, as a result of which new ways of controlling the functioning of equipment are arising, guaranteeing a prolonged operation without surprises during their work cycles. The prediction of failures in conveyor systems presents itself as a problem that needs to be investigated and justifies its solution, for the importance it represents to the manufacturing and logistics systems. An automated system of monitoring variables indicative of failures can, from the analysis of their behavior, indicate the trend that a failure will occur, allowing the forecast of maintenance for a moment of lower impact in the productive process, with greater efficiency. In this project, the board used will be the Arduino Uno Rev3. It has enough ports (input/output) to create prototypes with various sensors and connected modules. The expected result is a conveyor model by conveyor belt, implemented in the form of proof of concept, that monitors the variables of temperature, humidity, position, electric current and vibration, analyze the behavior of these variables and estimate the failure in the process, allowing the study of maintenance from real estimates of failure. The research has the qualitative character, because, for evaluation were implemented in the system, devices for monitoring temperature, humidity, position, current and vibration. So that they will be assessed the functionalities that these devices offer in the maintenance study based on failure estimation. For this study, we will consider the machines involved in transport operations in the manufacturing systems, focusing on conveyors by conveyors, identifying the possible failures that can be avoided, in the light of the prediction of the occurrence of the same. The method applied in this study proposes to provide the way for other fault prediction analyzes to occur, in other manufacturing systems, with the appropriate adequacy. With the sensing one can analyze the alterations of the variables and the working situation if it was normal or abnormal in real time where the sensors were positioned on the conveyor belt. The analysis of the values shows that all the actions carried out by the sensors have become more efficient, taking into account that the sensing is in real time. In general, this work achieved satisfactory results in most of the specified objectives, that is, in reading the values of temperature, humidity, vibration detection and belt position detection.

Keywords: Sensors. Failure Prediction. Conveyors.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Resultado esperado do trabalho	16
Figura 2 – Placa de desenvolvimento Arduino UNO R3.....	19
Figura 3 – Módulo sensor de temperatura e umidade DHT11	20
Figura 4 – Módulo Sensor de Contagem 5mm ou Chave Óptica	21
Figura 5 – Módulo sensor de corrente elétrica ACS712.....	22
Figura 6 – Módulo sensor de vibração SW-420	23
Figura 7 – Fluxo básico de medição de vibração	25
Figura 8 – Método aplicado para predição e análise de falhas em sistemas transportadores	28
Figura 9 – Conjunto de peças para montagem da estrutura da esteira transportadora	32
Figura 10 – Sensores utilizados para implementar a fase do método aplicado	33
Figura 11 – <i>Display</i> LCD 16x2 com módulo I2C utilizado para exibir os dados sensorizados.....	33
Figura 12 – Planta para ensaios de predição de falhas montada.....	34
Figura 13 – Trecho do código utilizado para simular os valores da corrente elétrica.	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Dados obtidos durante a realização do experimento da planta de transporte com predição de falhas.	35
Tabela 2 - Materiais e equipamentos utilizados na prova de conceito.	36
Tabela 3 - Diferença relativa entre valores desejados e os valores alcançados.	37

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Especificações técnicas do módulo microcontrolador Arduino R3	18
Quadro 2 - Especificações técnicas do sensor DHT11	20
Quadro 3 - Especificações técnicas do sensor de contagem 5mm ou chave óptica .	21
Quadro 4 - Especificações técnicas do sensor de corrente elétrica ACS712.....	22
Quadro 5 - Especificações técnicas do sensor de Vibração SW-420.....	23

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AC	<i>Alternating Current</i> (Corrente Alternada – CA)
DC	<i>Direct Current</i> (Corrente Contínua – CC)
ICSP	<i>In Circuit Serial Programming</i> (Programação no próprio circuito)
IFES	Instituto Federal do Espírito Santo
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i> (Display de Cristal Líquido)
LED	<i>Light Emitting Diode</i> (Diodo Emissor de Luz)
MDF	<i>Medium Density Fiberboard</i> (Fibras de Média Densidade)
NA	Normalmente Aberto
NF	Normalmente Fechado
NTC	<i>Negative Temperature Coefficient</i> (Coeficiente negativo de temperatura)
OUT	Saída
PVC	<i>Polyvinyl chloride</i> (Policloreto de Vinil)
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i> (Modulação por Largura de Pulso)
RMS	<i>Root Mean Square</i> (Valor médio quadrático)
RPM	Rotação Por Minuto
SMD	<i>Surface Mounted Device</i> (Componentes montados na superfície)
TC	Transportador de Correia
UERGS	Universidade Estadual do Rio Grande do Sul
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UFU	Universidade Federal de Uberlândia
UR	Umidade Relativa
USB	<i>Universal Serial Bus</i> (Barramento de dados universal)

LISTA DE SÍMBOLOS E UNIDADES DE MEDIDAS

V	Volts, unidade de medida de tensão elétrica
°C	Graus Celsius, unidade de medida de temperatura
mm	Milímetro, subunidade de comprimento, equivalente a um milésimo de metro
μ	Submúltiplo do Sistema Internacional de Unidades, denotando um fator 10^{-6}
g	Gramma, unidade da grandeza física de massa.
MHz	Unidade de frequência, equivalente a um milhão de Hertz
KB	Quilo Byte múltiplo da unidade byte, corresponde, a $1024 (2^{10})$ bytes
mA	Miliampere é igual a um ampère dividido por 1000
s	Segundo, unidade de grandeza física de tempo
μ s	Prefixo do Sistema Internacional de Unidades, denotando um fator de 10^{-3}
Vcc	Tensão elétrica em corrente continua
A	Ampère, unidade de medida de corrente elétrica
mV	Milivolt é igual a um volt dividido por 1000

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 PROBLEMÁTICA	13
1.2 HIPÓTESE	14
1.3 OBJETIVOS	14
1.4 RESULTADOS ESPERADOS	15
2 REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1.1 Módulo microcontrolador Arduino UNO Rev3	17
2.1.2 Sensores	19
2.1.2.1 Sensor de Temperatura e Umidade DHT11	19
2.1.2.2 Sensor Chave Óptica	20
2.1.2.3 Sensor de corrente	21
2.1.2.4 Sensor de Vibração	22
2.2 PESQUISAS RELACIONADAS	23
2.2.1 Manutenção preditiva de máquinas rotativas para detecção de falhas mecânicas, com técnicas de aprendizado de máquina, utilizando dados reais de sensores de vibração.	23
2.2.2 Utilização da análise de vibração para predição de falhas em rolamentos autocompensadores de esfera.	24
3 METODOLOGIA	27
3.1 TIPO DE PESQUISA	27
3.2 UNIVERSO DE ABRANGÊNCIA DA PESQUISA	27
3.3 MÉTODO APLICADO	28
4 RESULTADOS	31
5 ANÁLISE	37
6 CONCLUSÃO	39
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40

1 INTRODUÇÃO

Em processos de manufatura, tão importantes 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 remetem 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).

Segundo Conceição (2022 pag.17): “Os avanços no desenvolvimento do sistema de transporte por correias transportadoras e nos materiais utilizados não mais pararam, o que possibilitou a sua instalação nos mais variados setores do mercado”.

Transportadores de correia vêm 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).

A manutenção é um conjunto de atividades que tem como objetivo garantir o pleno funcionamento de máquinas e equipamentos para garantir a produtividade e qualidade dos produtos, bem como prevenir falhas e quebras de seus elementos.

De acordo com Seleme (2015), após a Revolução Industrial é que os processos

de manutenção se consolidam e geram a necessidade de que os equipamentos e as ferramentas de engenharia sejam objetos de conserto e reparos. Segundo Neto e Scarpim (2014) o objetivo da manutenção é efetuar reparos e consertos nas máquinas e equipamentos para que possam funcionar em perfeito estado.

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 têm uma funcionalidade 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.

1.1 PROBLEMÁTICA

A manutenção corretiva em máquinas e equipamentos é algo que onera o processo produtivo, por provocar a parada de produção. As manutenções preventivas amenizam, mas ainda assim provocam paradas indevidas no processo, como uma forma de prevenção.

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.

1.2 HIPÓTESE

A manutenção, desde a sua primeira implantação até os seus dias atuais, evoluiu até chegarmos no atual cenário, em que sensores aplicados em pontos estratégicos podem gerar informações em tempo real para serem avaliados, evitando paradas desnecessárias no decorrer de um processo produtivo.

Assim, 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 as falhas, baseando se em equipamentos transportadores com recursos de automação, o presente trabalho abordará a implementação de um protótipo para averiguar as possíveis falhas que podem ocorrer neste tipo de equipamento, vindo a controlar o período para realizar a manutenção no equipamento.

1.3 OBJETIVOS

A seguir estão descritos o objetivo geral e os objetivos específicos deste trabalho, que foram pesquisados e traçados utilizando um transportador como equipamento para base de estudo. A finalidade é identificar possíveis falhas utilizando equipamentos de automação.

1.3.1 Objetivo Geral

Este trabalho 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 iminente ao operador, antes que a mesma ocorra, servindo como objeto de estudo para manutenções baseadas em previsão de falhas.

1.3.2 Objetivos específicos

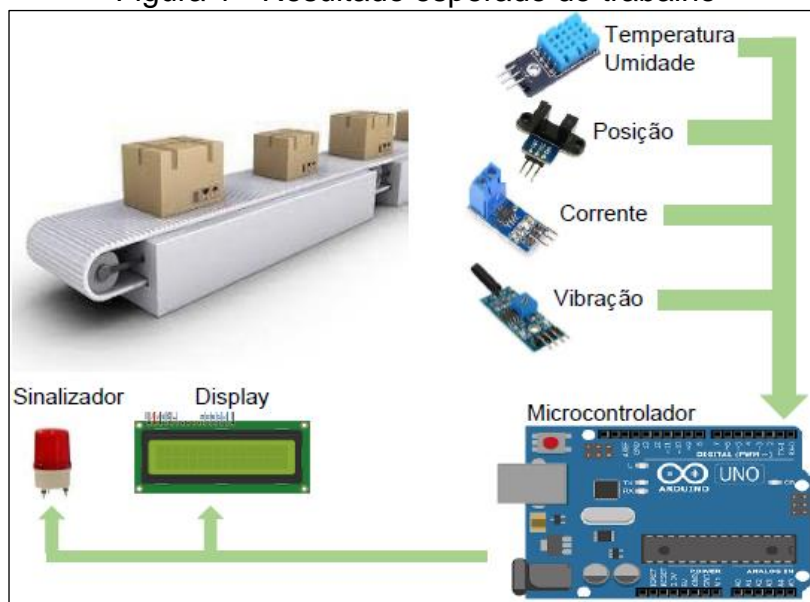
Os objetivos específicos definem as etapas que o estudo deve alcançar, paulatinamente, de forma que somados resultem no objetivo geral. Dentro desse estudo, se caracterizaram os seguintes objetivos específicos:

- a) pesquisar sobre referências para solução ao problema;
- b) definir um método a ser utilizado;
- c) montar uma planta de um transportador por esteira, para prova de conceito;
- d) implementar o sensoriamento da planta (temperatura, posição, corrente e vibração);
- e) implementar a exibição das variáveis;
- f) desenvolver o algoritmo para previsão das falhas;
- g) realizar ensaio de transporte para coleta de dados;
- h) analisar a eficácia da previsão de falha para cada uma das variáveis;
- i) publicar os resultados obtidos de forma conclusiva.

1.4 RESULTADOS ESPERADOS

Uma vez que o objetivo geral seja atingido, a partir do alcance dos objetivos específicos, o resultado esperado é um modelo de transportador por esteira, implementado na forma de prova de conceito, que monitore as variáveis de temperatura, posição, corrente e vibração, analise o comportamento destas variáveis e estime a falha no processo, permitindo o estudo de manutenções a partir de estimativa real de falha. A Figura 1 apresenta, de forma ilustrativa, os resultados esperados neste trabalho.

Figura 1 - Resultado esperado do trabalho



Fonte: Autor (2023).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Para melhor entendimento deste trabalho, ele está dividido em duas seções. A primeira parte, apresenta a fundamentação teórica, que apresenta o conteúdo que norteia o projeto. A segunda parte é relacionada às pesquisas com trabalhos realizados anteriormente, que possuem temas semelhantes ao trabalho realizado.

2.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção estão citadas as tecnologias, conceitos e características técnicas dos dispositivos empregados neste trabalho, com o objetivo de aprimorar os conhecimentos sobre os dispositivos utilizados. Os temas abordados nesta seção são:

- a) módulo microcontrolador Arduino UNO Rev3;
- b) sensores.

2.1.1 Módulo microcontrolador Arduino UNO Rev3

Segundo Makiyama (2022) “Arduino é uma plataforma que possibilita o desenvolvimento de projetos eletrônicos, em outras palavras, é uma plataforma de prototipagem eletrônica”. Ainda segundo Makiyama (2022) “O arduino é constituído de *hardware* e *software*, tornando assim possível a realização de diversos projetos tecnológicos”.

No presente projeto, a placa utilizada será a Arduino Uno Rev3. Ela possui quantidade de portas (entrada e saída) suficientes para a criação de protótipos com vários sensores e módulos conectados.

O Arduino Uno Rev3 SMD é uma placa microcontroladora baseada no ATmega328. Possui 14 pinos de entrada ou saída digital, dos quais 6 podem ser usados como saídas *PWM* (*Pulse Width Modulation*), 6 entradas analógicas, um ressonador cerâmico de 16 MHz, uma conexão USB (*Universal Serial Bus*), um conector de alimentação, um conector ICSP (*In Circuit Serial Programming*) e um botão de *reset* (ARDUINO, 2023).

O Quadro 1 apresenta as especificações técnicas do módulo microcontrolador Arduino R3.

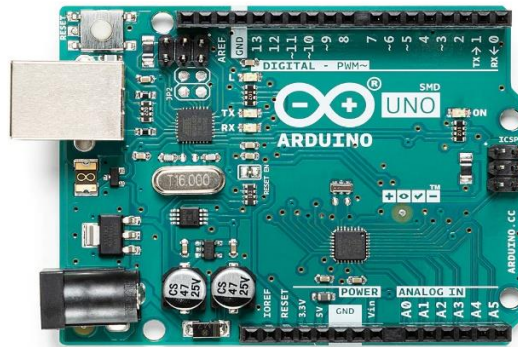
Quadro 1 - Especificações técnicas do módulo microcontrolador Arduino R3

Métricas	Especificação técnica
Microcontrolador	ATmega328P
Tensão elétrica operacional	5V
Tensão de entrada (recomendado)	7V a 12V
Tensão de entrada (limite)	6V a 20V
Pinos de entradas ou saídas digitais	14
Pinos de saídas digitais PWM	6
Pinos de entrada analógica	6
Corrente contínua por pino de saída	20mA
Corrente contínua para pino de 3,3 V alimentar outros dispositivos	50mA
Memória flash	32kB(ATmega328P) dos quais 0,5kB usados pelo <i>bootloader</i>
SRAM	2kB (ATmega328P)
EEPROM	1kB (ATmega328P)
Velocidade do relógio	16MHz
LED_BUILTIN	13
Comprimento	68,6mm
Largura	53,4mm
Peso	25g

Fonte: Arduino (2023).

A Figura 2 apresenta a vista frontal do módulo microcontrolador Arduino UNO R3.

Figura 2 – Placa de desenvolvimento Arduino UNO R3



Fonte: ARDUINO (2023).

2.1.2 Sensores

Um sensor é um dispositivo que responde a um estímulo físico ou químico de maneira específica, produzindo um sinal que pode ser transformado em outra grandeza física para fins de medição (ELETROGATE, 2023b).

Existem vários tipos de sensores que respondem a estímulos diferentes, como por exemplo: calor, pressão, movimento, luz e outros. Depois que o sensor recebe o estímulo, a sua função é emitir um sinal que seja capaz de ser convertido e interpretado pelos outros dispositivos (MUNDO DA ELÉTRICA, 2023b).

2.1.2.1 Sensor de Temperatura e Umidade DHT11

O módulo sensor de temperatura e umidade DHT11 é um sensor que permite fazer leituras de temperaturas entre 0°C a 50°C e umidade entre 20% a 90%, muito utilizado para projetos com módulo microcontrolador arduino (FILIPEFLOP, 2023a).

O elemento sensor de temperatura do módulo é um termistor do tipo NTC e o sensor de umidade é do modelo HR202. O circuito interno faz a leitura dos sensores e se comunica a um microcontrolador, através de um sinal serial de uma via (FILIPEFLOP, 2023a).

O Quadro 2 apresenta as especificações técnicas do sensor de temperatura e umidade DHT11.

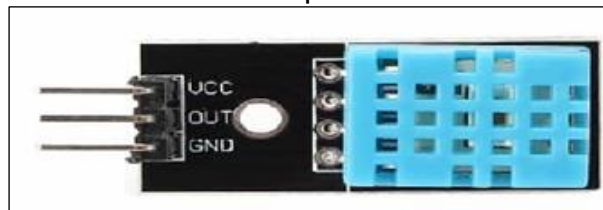
Quadro 2 - Especificações técnicas do sensor DHT11

Especificações	Características
Faixa de medição de umidade	20% a 90% UR
Faixa de medição de temperatura	0°C a 50°C
Alimentação elétrica	3Vcc a 5Vcc (5,5Vcc máximo)
Corrente elétrica	200µA a 500mA
Precisão de umidade de medição	5,0% UR
Precisão de medição de temperaturas	2,0°C
Tempo de resposta	2s
Dimensões	23mm x 12mm x 5 mm

Fonte: FILIPEFLOP (2023a).

A Figura 3 mostra a vista frontal do módulo sensor de temperatura e umidade.

Figura 3 – Módulo sensor de temperatura e umidade DHT11



Fonte: FILIPEFLOP (2023).

2.1.2.2 Sensor Chave Óptica

O Sensor de Contagem 5mm ou Chave Óptica é uma placa eletrônica pequena, desenvolvida para atuar em conjunto com diversas plataformas de prototipagem, entre elas o Arduino. A principal função é realizar a leitura de *discos encoder*, uma vez que conta um emissor e um receptor infravermelho em suas extremidades (USINAINFO, 2023).

A Chave Óptica emite um feixe de luz infravermelha imperceptível à visão humana, quando este feixe de luz é rompido, o sistema microcontrolador, se programado, estará ciente da distância, velocidade e posição de movimentação, por exemplo, de um robô em forma de carrinho, engrenagens de impressoras, entre outros (USINAINFO, 2023).

O Quadro 3 apresenta as especificações técnicas do sensor de contagem 5mm ou chave óptica.

Quadro 3 - Especificações técnicas do sensor de contagem 5mm ou chave óptica

Especificações	Características
Detectação	Velocidade de deslocamento
Modelo	SC5M
Chip principal	LM393
Espaço entre leitores	4,9mm
Tensão de trabalho	5Vcc
Dimensões	25mm x 20mm x 12mm

Fonte: USINAINFO (2023).

A Figura 4 apresenta o módulo do sensor de contagem 5mm ou chave óptica.

Figura 4 – Módulo Sensor de Contagem 5mm ou Chave Óptica



Fonte: USINAINFO (2023).

2.1.2.3 Sensor de corrente

Este sensor utiliza o efeito *Hall*¹ para detectar o campo magnético gerado pela passagem de corrente, gerando na saída do módulo (pino OUT) uma tensão proporcional de 66mV por Ampère medido. O sensor também pode medir correntes entre -30A e +30A, sendo do tipo invasivo, ou seja, é preciso interromper o circuito para realizar a medição (FILIPEFLOP, 2023c).

O sensor de corrente ACS712 pode ser utilizado com corrente elétrica alternada

¹ Efeito *Hall* - O efeito Hall se caracteriza basicamente pelo aparecimento de um campo elétrico transversal em um condutor percorrido por uma corrente elétrica, quando ele se encontra imerso em um campo magnético (ELETROGATE, 2023a).

(CA) e corrente elétrica contínua (CC). Os bornes de ligação são completamente isolados da saída para o microcontrolador (FILIPEFLOP, 2023c).

O Quadro 4 apresenta as especificações técnicas do sensor de corrente elétrica ACS712.

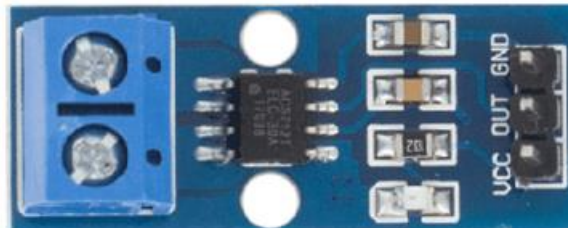
Quadro 4 - Especificações técnicas do sensor de corrente elétrica ACS712

Especificações	Características
Faixa de medição	-30A a +30A
Alimentação de energia elétrica	5Vcc
Tempo de resposta	5 μ s
Saída analógica proporcional	66mV por Ampère medido
Dimensões	30mm x 12mm x 12mm

Fonte: FILIPEFLOP (2023c).

A Figura 5 apresenta o módulo do sensor de corrente elétrica ACS712.

Figura 5 – Módulo sensor de corrente elétrica ACS712



Fonte: FILIPEFLOP (2023c).

2.1.2.4 Sensor de Vibração

O sensor de vibração SW-420 foi concebido para detectar vibrações e suas aplicações são diversas. Neste sensor, quando a intensidade de vibração está abaixo do valor ajustado no potenciômetro, a saída fica em estado lógico alto, e quando a intensidade de vibração ultrapassa a faixa, a saída fica em estado lógico baixo (FILIPEFLOP, 2023b).

A saída digital pode ser conectada diretamente a um microcontrolador, como Arduino, e sua sensibilidade pode ser ainda ajustada através do potenciômetro presente no sensor (FILIPEFLOP, 2023b).

O Quadro 5 apresenta as especificações técnicas do sensor de vibração SW-420.

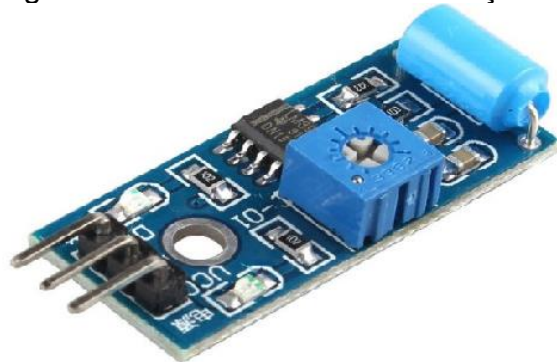
Quadro 5 - Especificações técnicas do sensor de Vibração SW-420

Especificações	Características
Tipo de saída	Digital
Alimentação elétrica	3Vcc a 5Vcc (5,5Vcc máximo)
Comparador	LM393
Led Indicador	Módulo alimentado Saída digital ativa
Dimensões	32mm x 14mm

Fonte: FILIPEFLOP (2023b).

A Figura 6 mostra o módulo do sensor de vibração SW-420.

Figura 6 – Módulo sensor de vibração SW-420



Fonte: FILIPEFLOP (2023b).

2.2 PESQUISAS RELACIONADAS

Nesta seção serão relatados projetos similares que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho, e que possuem correlação com a temática do estudo.

2.2.1 Manutenção preditiva de máquinas rotativas para detecção de falhas mecânicas, com técnicas de aprendizado de máquina, utilizando dados reais de

sensores de vibração.

O trabalho apresentado por Rocha (2022) trata da manutenção preditiva de máquinas rotativas, com técnicas de aprendizado de máquina utilizando dados reais de sensores de vibração. Com as informações de vibração de equipamentos de máquinas rotativas, é possível colocar em prática ações que contribuam para a redução do custo da manutenção, com isso pode se aplicar a manutenção preditiva, que resumindo é uma técnica de monitoramento para identificar possíveis anomalias em máquinas e equipamentos.

O problema que Rocha (2022) buscou solucionar foi um estudo sobre a aplicação de um modelo clássico de aprendizado de máquina para detectar as falhas mecânicas de desalinhamento, desbalanceamento e folga rotativa, utilizando dados reais de sensores de vibração de máquinas rotativas, agregando à manutenção preditiva.

Para o desenvolvimento do trabalho, a autora utilizou dois métodos. O primeiro foi analisar o desempenho do modelo, ao utilizar dados de telemetria e dados do monitoramento, de forma de onda separados e em conjunto. O segundo foi analisar os efeitos produzidos no desempenho dos modelos, ao se alterar a tarefa de detecção, da presença ou não de uma falha mecânica qualquer, para a detecção de falhas mecânicas específicas.

Com os experimentos, verificou-se que alterar a tarefa para detecção de falhas específicas não resulta em um desempenho melhor, do que considerar apenas a classificação binária de que há ou não falha mecânica. Além disso, o modelo apresenta o melhor desempenho ao utilizar apenas os dados do monitoramento de forma de onda, indicando que, embora seja possível identificar padrões com os dados de telemetria, tais dados não contribuem com o desempenho do modelo, frente aos dados de forma de onda. Finalmente, no caso da detecção de falhas mecânicas a partir de dados do monitoramento de forma de onda, observou-se que as características (*features*) do sinal de envelope foram as consideradas mais relevantes para o modelo.

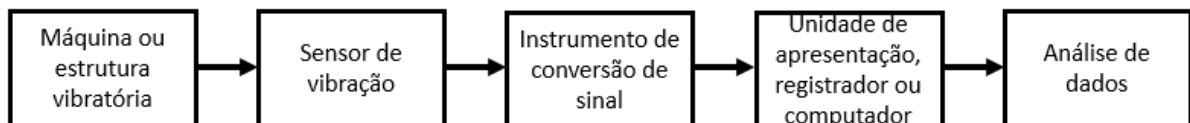
2.2.2 Utilização da análise de vibração para predição de falhas em rolamentos

autocompensadores de esfera.

O trabalho apresentado por Welffgranscer (2023) trata da utilização da análise de vibração para predição de falhas em rolamentos autocompensadores de esfera. Os rolamentos são dispositivos extremamente fundamentais em conjuntos mecânicos, sendo responsáveis pelo suporte de carga. Entretanto, devido às condições operacionais do conjunto mecânico, é de extrema importância avaliar a confiabilidade do rolamento.

O problema que Welffgranscer (2023) buscou solucionar, por meio de sensores de vibração, foi a possibilidade de monitorar em tempo real o equipamento, garantindo assim, um histórico operacional do ativo que auxilia na prevenção de falhas das máquinas ou de determinados componentes mecânicos, como os rolamentos. Os sensores de vibração, quando aplicados a rolamentos, permitem avaliar a condição de operação do rolamento e verificar se determinado componente atingiu uma falha. A Figura 7 apresenta o fluxograma do funcionamento básico do sistema proposto pelo autor.

Figura 7 – Fluxo básico de medição de vibração



Fonte: Welffgranscer (2023).

Welffgranscer (2023) estabeleceu como primeira etapa a coleta de dados, que foram obtidos através do sensor de vibração triaxial da empresa Dynamox, modelo TcA+. O sensor é aplicado em um mancal de rolamento, que é responsável por transmitir a rotação. Utilizando os dados de monitoramento contínuo, utilizou-se análises no domínio do tempo e frequência para comparar o comportamento do rolamento, antes e após o período de falha.

Com a análises dos dados do monitoramento no domínio frequência e no domínio tempo foi constatada uma vibração acima dos padrões da norma, A fim de não gerar uma parada corretiva no equipamento, realizou-se uma troca preventiva desse rolamento com falha, e na inspeção visual pôde-se observar que de fato ele

estava danificado

Ao utilizar um sensor de vibração, foi possível verificar o estágio avançado de falha do rolamento e efetuar a troca dele, antes mesmo de ocasionar uma parada do equipamento, devido ao travamento do rolamento, sendo que essa troca foi responsável por uma redução de 48,78% da velocidade RMS².

² Velocidade RMS é a raiz quadrada da média dos quadrados da velocidade (CREF, 2023).

3 METODOLOGIA

O presente trabalho aborda como metodologia uma pesquisa experimental, de um estudo em manutenção baseado em estimativa de falhas, a partir de recursos de automação (sensores), que serão implementados no sistema de esteira transportadora. Junto à metodologia, estão descritos o tipo de pesquisa, o universo de abrangência e o método aplicado.

3.1 TIPO DE PESQUISA

A pesquisa possui o caráter qualitativo, pois, para avaliação foram implementados no sistema, dispositivos de monitoramento de temperatura, umidade, posição, corrente e vibração. De forma que serão aferidas as funcionalidades que estes dispositivos oferecem no estudo em manutenção, baseado em estimativa de falhas. Por fim, a pesquisa terá caráter exploratório, pois se utilizou de bibliografia, metodologias e pesquisas realizadas anteriormente, como base no conhecimento da automação de sensores utilizados para estimar falhas em equipamentos.

Esta pesquisa foi desenvolvida com caráter qualitativo, experimental e descritivo, tendo como propósito melhorar os processos adotados atualmente na manutenção com estimativa de falhas, utilizando recursos de automação.

A pesquisa experimental demonstra de que forma e quais os resultados foram obtidos no objeto pesquisado em questão, isto é, além da pesquisa dos referenciais também é realizada a implementação, montagem, construção, organização ou prototipação do objeto pesquisado, a fim de obter dados que sirvam para testar a validade da hipótese (SILVA *et al.*, 2013), sendo esta implementada no projeto.

3.2 UNIVERSO DE ABRANGÊNCIA DA PESQUISA

O estudo de manutenção em estimativa de falhas realizado neste projeto, envolvendo sistemas de manutenção, mostra que o método pode possuir várias aplicações com diferentes métodos com diferentes tipos de equipamentos e máquinas.

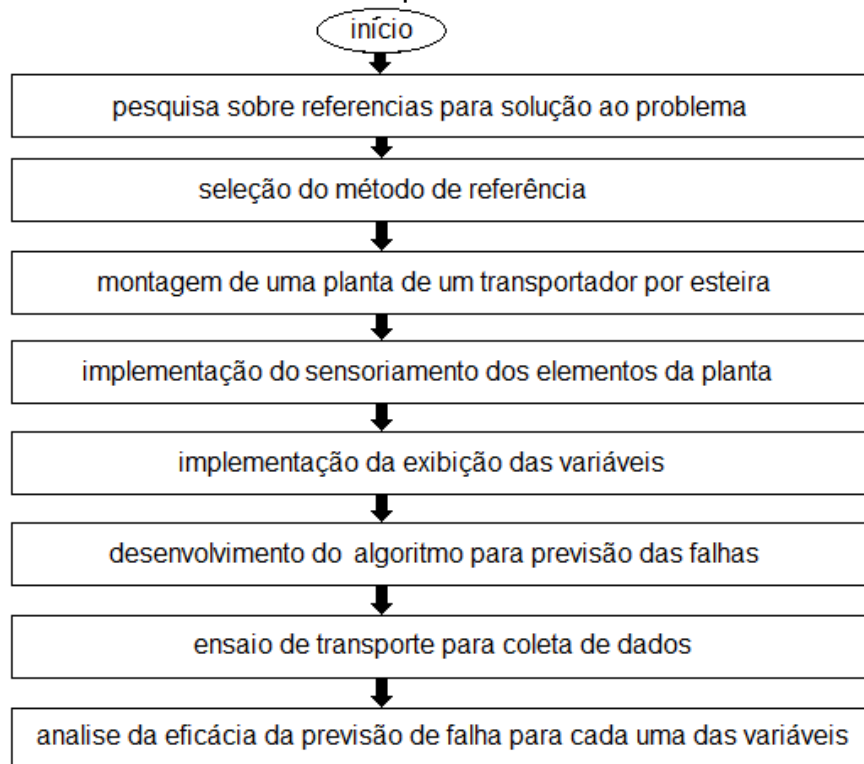
Para este estudo serão consideradas as máquinas envolvidas em operações de transporte nos sistemas de manufatura, com foco em transportadores por esteiras, identificando as possíveis falhas que podem ser evitadas, face a predição de ocorrência delas. Este universo foi selecionado por ser um ponto comum a diversos segmentos da manufatura industrial, com seus resultados contribuindo para uma gama maior de aplicações.

3.3 MÉTODO APLICADO

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 8 apresenta um fluxograma do método utilizado para predição e análise de falhas em sistemas transportadores, utilizado neste estudo.

Figura 8 – 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, 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.

4 RESULTADOS

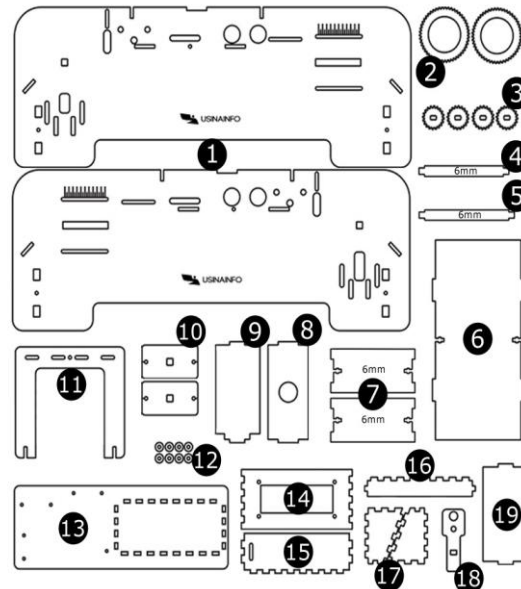
Para validação da hipótese proposta, o método apresentado no capítulo anterior é executado, em cada uma de suas fases.

Na fase 1, foram realizadas 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://traction.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 9 apresenta o conjunto de peças utilizadas para montagem da estrutura da esteira.

Figura 9 – Conjunto de peças para montagem da estrutura da esteira transportadora



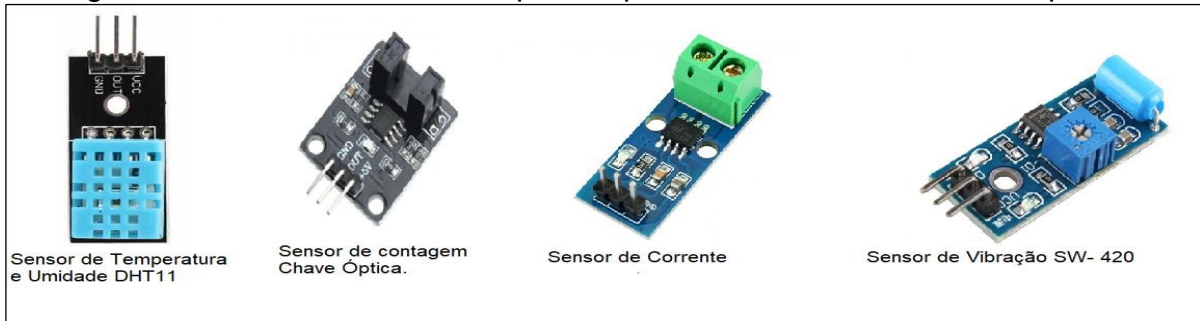
Fonte: Usina Info (2023).

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*³ 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 10 apresenta os sensores utilizados para implementar essa fase do método.

³ 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).

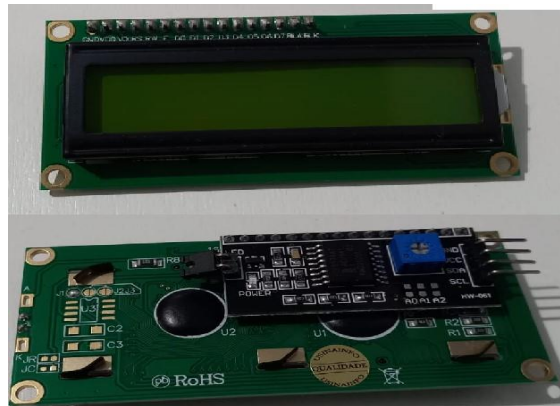
Figura 10 – Sensores utilizados para implementar a fase do método aplicado



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 Arduíno Uno. A Figura 11 apresenta o *display* utilizado na planta proposta.

Figura 11 – *Display* LCD 16x2 com módulo I2C utilizado para exibir os dados sensorizados



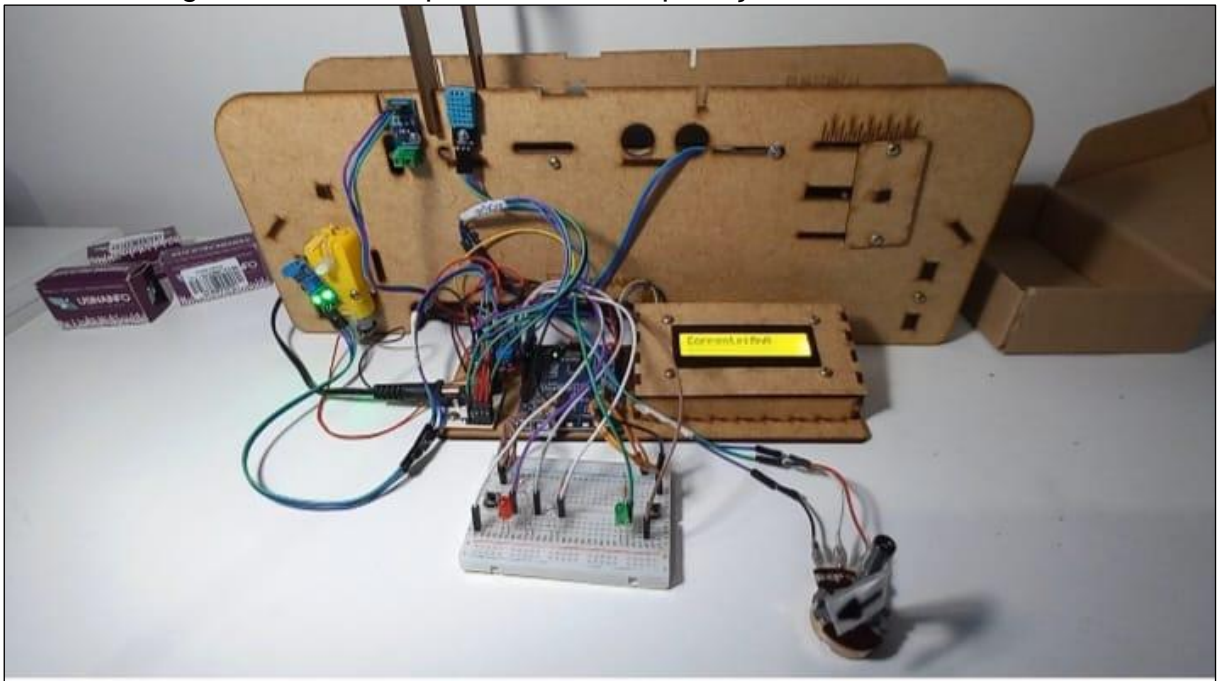
Fonte: Autor (2023).

Na fase 6, o desenvolvimento do algoritmo para previsão de falhas foi realizado em linguagem C. O algoritmo para previsão de falhas dos sensores de corrente elétrica, temperatura e umidade foi desenvolvido para acompanhar a variação de valores na 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 à 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 foi utilizada 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 12 apresenta a planta e a forma com que as falhas foram simuladas.

Figura 12 – Planta para ensaios de previsão 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 o sensor 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, este fora 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 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.

Tabela 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	Rolete 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).

A Tabela 2 apresenta os materiais e equipamentos, com suas respectivas quantidades e os custos, utilizados na prova de conceito.

Tabela 2 - Materiais e equipamentos utilizados na prova de conceito.

Materiais e Equipamentos	Quantidade	Valor
Estrutura para esteira Arduino em MDF	1	R\$ 134,34
Microcontrolador Arduino Uno R3	1	R\$ 119,23
Sensor de Temperatura e Umidade DHT11	1	R\$ 17,96
Sensor de vibração SW-420	1	R\$ 7,89
Sensor Chave Óptica	1	R\$ 36,81
Sensor de corrente ACS712 30A	1	R\$ 19,86
Display LCD 16x2 com Fundo Verde e Adaptador I2C	1	R\$ 39,81
Motor DC 3-6V 80RPM com Caixa de Redução	1	R\$ 19,86
Driver Controlador para motor DC IRF520	1	R\$ 12,83
Fonte de Alimentação Chaveada 5VDC 1A	1	R\$ 21,38
<i>Push Button</i>	2	R\$ 9,66
Resistor	4	R\$ 48,04
Protoboard 400 pontos	1	R\$ 17,96
Valor Total		R\$ 505,63

Observação: Preço de referência do mês de maio de 2023.
 Fonte: Autor (2023).

5 ANÁLISE

Com a aplicação de métodos e técnicas similares, utilizados em projetos expostos anteriormente, 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.

A Tabela 3 a seguir apresenta a diferença relativa entre os valores desejados e os valores alcançados.

Tabela 3 - 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. A Figura

13 apresenta o trecho do código utilizado para simular os valores da corrente elétrica.

Figura 13 – Trecho do código utilizado para simular os valores da corrente elétrica.

```
void setup () {  
  Serial.begin (9600);  
}  
  
void loop () {  
  
  int corrente = analogRead(A0);  
  int corr = map(corrente,0,1023,0,250);  
  
  Serial.println(corr);  
  delay(1000);  
}
```

Fonte: Autor (2023).

6 CONCLUSÃO

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, onde 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 maior sensibilidade, para detectar os valores mais próximos 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.

Por fim, para conseguir realizar este projeto se utilizou os conhecimentos adquiridos no decorrer do Curso Superior de Tecnologia em Automação Industrial, realizado na Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, tendo como componentes curriculares diretamente correlacionados: Eletrônica Digital; Microprocessadores; Instrumentação; Circuitos Elétricos; Programação; Metodologia Científica e Automação da Manufatura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARDUINO. **Arduino UNO REV3**. 2023 Disponível em:
<https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3>. Acesso em 25 abr. 2023.
- 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.
- CONCEIÇÃO, Joicy Milena da, **Dimensionamento de uma esteira transportadora compacta e ajustável para o transporte de mercadorias**, 2022, Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica), Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de Tucuruí, Tucuruí, 2022.
<https://bdm.ufpa.br:8443/jspui/handle/prefix/3943>. Acesso em 15 mar. 2023.
- CREF. **O que é velocidade rms?** 2023. Disponível em:
<https://cref.if.ufrgs.br/?contact-pergunta=o-que-e-velocidade-rms>. Acesso em 20 mai. 2023.
- ELETROGATE. **Transdutores de Corrente por Efeito Hall**. 2023a. Disponível em:
<http://www.eletrica.ufpr.br/edu/Sensores/2000/neis/>. Acesso em 20 mai. 2023.
- ELETROGATE. **Sensores e Módulos**. 2023b. Disponível em:
<https://www.eletrogate.com/sensores-e-modulos>. Acesso em 15 abr. 2023.
- FILIPEFLOP. **Módulo Sensor de Umidade e Temperatura DHT11 Ky015**. 2023a. Disponível em: <https://www.makehero.com/produto/modulo-sensor-de-umidade-e-temperatura-dht11-ky-015/#tab-description>. Acesso em 10 abr. 2023.
- FILIPEFLOP. **Sensor de Vibração SW-420**. 2023b. Disponível em:
<https://www.makehero.com/produto/sensor-de-vibracao-sw-420/>. Acesso em 11 abr. 2023.
- FILIPEFLOP. **Sensor de corrente ACS 725**. 2023c. Disponível em:
<https://www.makehero.com/produto/sensor-de-corrente-acs712-30a-a-30a/>. Acesso em 12 abr. 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.
- MAKIYAMA, Marcio. **O que é arduino, para que serve, benefícios e projetos**. 2022. Disponível em: <https://victorvision.com.br/blog/o-que-e-arduino/>. Acesso em 06 abr. 2023.

MERCURIO. **Conheça a história das Correias Transportadoras**. 2022. Disponível em <https://www.correiasmercurio.com.br/historia-das-correias-transportadoras>. Acesso em 10 mar. 2023.

MUNDO DA ELÉTRICA. **O que são sensores e quais as suas aplicações?**2023. Disponível em: <https://www.mundodaeletrica.com.br/o-que-sao-sensores-e-quais-as-suas-aplicacoes/>. Acesso em 15 abr. 2023.

NETO, Alexandre Shigunov; SCARPIM, João Augusto. **Terceirização na manutenção Industrial**. 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência ,2014.

Rocha, Ana Paula da. **Manutenção preditiva de máquinas rotativas para detecção de falhas mecânicas com técnicas de aprendizado de máquina utilizando dados reais de sensores de vibração**. 2022. 64 f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) - TCC (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Engenharia de Controle e Automação. 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/243320>. Acesso em 10 abr. 2023.

SELEME, Robson. **Manutenção Industrial: Mantendo a fábrica em funcionamento**. 1. ed. Curitiba: Intersaberes, 2015.

SILVA, Lais Nunes *et al.* **Manual de trabalhos acadêmicos e científicos da UERGS**: orientações práticas à comunidade universitária da UERGS. Porto Alegre: UERGS, 2013. 150 p.

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.

USINAINFO. **Sensor de Contagem 5mm Chave Óptica para Encoder**. 2023. Disponível em: <https://www.usinainfo.com.br/sensor-de-velocidade/sensor-de-contagem-5mm-chave-optica-para-encoder-2542.html>. Acesso em 30 mai. 2023.

WELFFGRANSCER, Arley da Silva. **Utilização da análise de vibração para predição de falhas em rolamentos autocompensadores de esferas**. 2023. 62 f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) - Instituto Federal do Espírito Santo, São Mateus, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ifes.edu.br/handle/123456789/2905>. Acesso em 15 abr. 2023.