UNIVERSIDADE ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL

UNIDADE UNIVERSITÁRIA PORTO ALEGRE

CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

RAFAEL OLIVEIRA DEL PINO

SISTEMA SUPERVISÓRIO PARA BOMBAS DE INFUSÃO HOSPITALARES

PORTO ALEGRE

2019

RAFAEL OLIVEIRA DEL PINO

SISTEMA SUPERVISÓRIO PARA BOMBAS DE INFUSÃO HOSPITALARES

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

Orientador: Dr. André Borin Soares

PORTO ALEGRE

2019

RAFAEL OLIVEIRA DEL PINO

SISTEMA SUPERVISÓRIO PARA BOMBAS DE INFUSÃO HOSPITALARES

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

Orientador: Dr. André Borin Soares

BANCA EXAMINADORA

_____

Orientador: Prof. Dr. André Borin Soares

Universidade Estadual do Rio Grande do Sul ï UERGS

_____

Prof. Dr. João Alvarez Peixoto

Universidade Estadual do Rio Grande do Sul ï UERGS

_____

Prof. Me. Emerson Fernandes Cunha

Universidade Estadual do Rio Grande do Sul ï UERGS

PORTO ALEGRE

2019

RESUMO

A modernização fez o Brasil apresentar um crescimento contínuo com investimentos na área da saúde. Um dos motivos deste aumento está relacionado à incorporação tecnológica das últimas décadas, a qual busca acompanhar o crescimento de demanda por leitos hospitalares e melhor eficiência no atendimento de pacientes. Um equipamento amplamente utilizado nos mais variados setores da área da saúde é a Bomba de Infusão. Estudos mostram que a fadiga de alarmes relacionada a este tipo de equipamento é responsável pela falta de resposta ou retardo no atendimento aos pacientes. Neste trabalho foi desenvolvido um sistema de supervisão para facilitar o controle das bombas e das causas dos alarmes. Um modelo de comunicação da bomba de infusão modelo GH - ALARIS foi desenvolvido com o uso de microcontrolador, de forma a reduzir os custos da elaboração do sistema. Como resultados, foi possível a realização de testes de integração do sistema com múltiplas bombas a um custo reduzido, viabilizando o desenvolvimento deste projeto. Uma vez que pode ser facilmente duplicado, o modelo desenvolvido pode ser utilizado também para treinamento de profissionais da saúde, sem comprometer os equipamentos reais.

Palavras-chaves: Automação hospitalar, sistema supervisório, equipamentos médico hospitalares

ABSTRACT

The modernization made Brazil present a continuous growth with investments in the health area, and one of the reasons for this increase is related to the technological incorporation of the last decades, which seeks to follow the growth of demand for hospital beds and better efficiency in patient care. An equipment widely used in the most varied sectors of the health area is the Infusion Pump. Studies show that the fatigue of alarms related to this type of equipment is responsible for the lack of response or delay in patient care. In this work a supervisory system was developed to facilitate the control of the pumps and the causes of the alarms. A communication model of the infusion pump model GH - ALARIS was developed with the use of microcontroller, in order to reduce the costs of the elaboration of the system. As results, it was possible to carry out integration tests of the system with multiple pumps at a reduced cost, making possible the development of this project. Since it can be easily duplicated, the developed model can also be used for training health professionals without compromising the actual equipment.

Keywords: Hospital automation, supervisory system, hospital medical equipment.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Média de tempo em minutos para atendimento ao alarme 13
Figura 2 - Distribuição percentual de classes de falhas entre bombas de infusão 15
Figura 3 - Esquema básico do sistema a ser implementado 16
Figura 4 - Croqui do sistema em ambiente virtual 18
Figura 5 - *Display* da bomba Alaris GH e seus indicadores 19
Figura 6 - Comparação da concentração da droga x tempo. 21
Figura 7 ï Componentes básicos de sistema infusão controlado por gravidade.....21
Figura 8 - Modelo peristáltico rotativo 23
Figura 9 - Modelo peristáltico linear 24
Figura 10 - Bomba de infusão de seringa 25
Figura 11 - Modelo de bomba de infusão ambulatorial 26
Figura 12 ï Exemplo de tela de um sistema supervisório SCADA.....26
Figura 13 - Diferenças entre VBA e VBScript.....27
Figura 14 - Especificação arquitetural do sistema proposto 29
Figura 15 - Protótipo utilizado por Sidney Rodrigues para validação 30
Figura 16 - Estrutura do projeto proposto.....31
Figura 17 - Montagem do protótipo do sistema de Thiago Goularte 31
Figura 18 - Ferramentas utilizadas em cada elemento do sistema simulado. 32
Figura 19 - Características físicas da bomba de seringa Alaris GH 33
Figura 20 - Itens que serão monitorados no supervisório 34
Figura 21 - Especificações da conexão externa RS232 da bomba Alaris. 34
Figura 22 - Lista de termos para implementação de comunicação 35
Figura 23 - Estrutura do *frame* de dados.....36
Figura 24 - Comandos que serão enviados a bomba.....36
Figura 25 - Respostas da bomba de infusão aos comandos 37
Figura 26 - Mnemônicos dos alarmes 37
Figura 27 - Exemplo de cálculo CRC 38
Figura 28 - Parâmetros do modelo Rocksoft 39
Figura 29 - Algoritmo CRC 39
Figura 30 - Especificações do microcontrolador.....40
Figura 31 - Microcontrolador e periféricos.....41

Figura 32 - Diagrama elétrico do microcontrolador 41
Figura 33 - Código da função *main* no microcontrolador.....42
Figura 34 - Trecho do código de CRC.....43
Figura 35 - *TAGs* associadas a comunicação serial 44
Figura 36 - Configurações avançadas de recepção de dados 45
Figura 37 - Procedimento para acrescentar portas seriais.....45
Figura 38 - Configuração de duas portas seriais diferentes 46
Figura 39 - Algoritmo para requisição e coleta de dados 47
Figura 40 - VBScript que irá rodar em segundo plano 48
Figura 41 - Configuração do VSPE 48
Figura 42 - Configuração do terminal virtual do simulador 49
Figura 43 - Simulação em funcionamento.....50
Figura 44 - Transmissão RS485.....51
Figura 45 - Placa distribuidora de porta serial.....52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Quantidade das bombas de infusão e de ordens de serviço.....14
Tabela 2 - Modelos de bomba e requisitos 17

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
CLP	Controlador lógico programável
CRC	*Cyclic Redundancy Check*
EMH	Equipamentos médico-hospitalares
EAS	Estabelecimentos Assistenciais de Saúde
HMI	*Human Machine Interface*
IHM	Interface Homem-máquina
ISO	Organização Internacional para Padronização (*International Organization for Standardization)*
IWS	*Indusoft Web Studio*
RAM	*Random Access Memory*
RX	*Reception*
SCADA	*Supervisory Control and Data Acquisition*
SUS	Sistema Único de Saúde
TTL	Transistorï transistor *logic*
TX	*Transmission*
UTI	Unidade de tratamento intensivo
VBA	*Visual Basic for application*
VBS	*Visual Basic Script*
VSPE	*Virtual Serial Port Emulator*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 10
1.1 CRESCENTE DEMANDA NA ÁREA DA SAÚDE 10
1.2 TECNOLOGIA A FAVOR DA MEDICINA 12
1.3 SISTEMA SUPERVISÓRIO PARA BOMBAS DE INFUSÃO 16
1.3.1 Software de implementação do sistema supervisório 16
1.3.2 Fabricante, modelo e tipo de bomba de infusão 17
1.3.3 Método de prototipagem 18
1.3.4 Dados de interesse 19
2 REFERENCIAL TEÓRICO 20
2.1 BOMBAS DE INFUSÃO 20
2.1.1 Bombas de infusão peristáltica 22
2.1.2 Bombas de infusão de seringa 24
2.1.3 Bombas de infusão ambulatoriais 25
2.2 SISTEMAS SCADA 25
2.3 VISUAL BASIC SCRIPT LANGUAGE 27
2.4 REFERENCIAIS DE PESQUISA 28
2.4.1 Sistemas de acionamento para bombas de infusão de múltiplos canais 28
2.4.2 Central de monitoramento para bombas de infusão 29
3 MÉTODOS 32
3.1 ANÁLISE DA BOMBA ALARIS GH E DEFINIÇÃO DOS DADOS 32
3.2 PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO BOMBA DE INFUSÃO ALARIS GH 35
3.3 PROGRAMAÇÃO DO MICROCONTROLADOR 40
3.4 PARAMETRIZAÇÃO DO INDUSOFT WEB STUDIO 43
3.4.1 *Driver* TXRX 43
3.4.2 *VBScript* 45
3.5 LIGAÇÃO ENTRE OS DISPOSITIVOS 46
4 RESULTADOS 50
5 ANÁLISE 51
6 CONCLUSÃO 53
REFERÊNCIAS 55

1 INTRODUÇÃO

O crescimento da oferta de equipamentos médico-hospitalares (EMH) e o avanço da tecnologia estão gerando uma alteração nas finanças de Estabelecimentos Assistenciais de Saúde (EAS) com o investimento em métodos mais caros e sofisticados. EAS de diferentes níveis de complexidade compõem o Sistema Único de Saúde (SUS), que são complementadas por instituições privadas e, inclusive, recebem investimentos. Entidades filantrópicas e sem fins lucrativos ficam em segundo plano em respeito à preferência, mediante contrato de direito público ou convênio (AMORIM; JUNIOR; SHIMIZO, 2015).

A modernização do SUS faz o Brasil apresentar um crescimento contínuo com investimentos na área da saúde. Um dos motivos deste aumento está relacionado à incorporação tecnológica das últimas décadas, com interferência direta na qualidade do serviço. A modernização tecnológica causa o aumento dos custos na saúde em todos os países com a aquisição de equipamentos médico-hospitalares, em diferentes âmbitos do setor da saúde, que também exigem constantes atualizações devido às mudanças e aos surgimentos de novos produtos. Apesar do aumento no investimento em equipamentos médico-hospitalares, o efeito deste investimento resulta em práticas profissionais mais eficientes e precisas (DE ALMEIDA; SILVA, 2016).

EMH são primordiais para o diagnóstico, tratamento, prevenção e reabilitação da saúde, possibilitando a oferta de serviços com altos índices de qualidade a vida do paciente, e no que diz respeito à qualidade, buscando atender às exigências da ANVISA.

Os principais fabricantes de EMH são os Estados Unidos com mais da metade (56,0%) da produção de dispositivos médicos, seguidos por países localizados na Europa e o Japão, ambos com 18,0%, que também tem participação importante no mercado (ANAHP, 2015), possibilitando uma disputa altamente dinâmica e competitiva, o que exige dos envolvidos, um forte investimento na área de inovação tecnológica.

1.1 CRESCENTE DEMANDA NA ÁREA DA SAÚDE

Nos EAS, equipamentos médico-hospitalares têm sido cada da vez mais

utilizados no tratamento de pacientes. O índice tem-se elevado quando se fala na utilização de dispositivos para controle de fluxo de infusão intravenosa, também conhecidos como bombas de infusão, que além de controlar o fluxo de fluído inserido no paciente, devem conter diferentes tipos de alarmes e outros dispositivos de segurança e precisão para garantir que a correta dosagem será infundida (JUNIOR, 2016).

O crescimento do número de EMH acarreta na necessidade de conhecimento técnico-operacional da equipe de saúde, que na maioria das vezes é enxuta e saturada no que tange à quantidade de atribuições e atividades, devido ao elevado número de cidadãos que migraram para o Sistema Único de Saúde.

Em virtude da população global cada vez mais envelhecida e com maiores índices de morbidades, a procura por leitos tem aumentado substancialmente, um dado que comprova esta afirmação está na estimativa de que 60,0% dos leitos de UTI são ocupados por pacientes acima de 65 anos de idade. Além do maior risco biológico da população idosa, fatores culturais elevaram a tendência da morte institucionalizada e da realização de mais intervenções para prolongamento da vida, sem necessariamente garantir a redução dos óbitos. Atualmente, mais de 70,0% dos óbitos ocorrem nos hospitais e, mais especificamente, em UTI, visto que ela possui papel decisivo na sobrevida dos pacientes e qualquer imprevisto resulta em impacto negativo nos resultados clínicos e na taxa de mortalidade (GOLDWASSER *et al.*, 2016).

Em uma pesquisa, que visava determinar o número ideal para atendimentos de adultos no estado do Rio de Janeiro em leitos públicos de unidades de terapia intensiva, segundo Goldwasser *et al.* (2016), houveram 33.101 solicitações médicas para 268 leitos de unidade de terapia intensiva regulados no estado. O tempo médio de permanência nas unidades de terapia intensiva reguladas era de aproximadamente 11,3 dias, sendo assim, para garantir a estabilidade do sistema, haveria a necessidade de 595 leitos ativos e 628 leitos para o tempo máximo na fila de seis horas. Deduzidas as atuais taxas de desistência por melhora clínica (25,8%), estes números caem para 441 e 471, resultando em um tempo médio permanência de 6,5 dias, o número necessário ainda assim seria superior ao atual registrado, com a quantidade de 342 e 366 leitos, respectivamente.

1.2 TECNOLOGIA A FAVOR DA MEDICINA

A tecnologia busca acompanhar o crescimento de demanda por leitos hospitalares e melhor eficiência no atendimento de pacientes. Um equipamento amplamente utilizado nos mais variados setores da área da saúde é a Bomba de Infusão. Este dispositivo surgiu com a necessidade de administração dos medicamentos utilizados nas internações e surgiram por volta de 1963, a partir do início da utilização de medicações parentais. O primeiro dispositivo automático foi criado em 1963, logo após o aumento significativo da utilização de aplicação de drogas de forma intravenosa na década de 1960. Nessa época, cerca de 40% das drogas já eram aplicadas de forma intravenosa (AMORIM, 2014).

Segundo Beskow (1999) *apud* Alves (2002), situações normalmente complexas de serem resolvidas foram originadas pela inserção da tecnologia em procedimentos de atendimento à saúde, o conhecido problema de gestão de tecnologia médico-hospitalar, composto por diversas etapas. Do ponto de vista da Engenharia Clínica, é necessário discutir as características que estão relacionadas às funcionalidades e segurança dos EMH ï neste caso, a bomba de infusão ï pois essas características são de extrema importância para a segurança de todos os envolvidos no processo de atendimento.

A grande quantidade de pacientes que uma UTI pode receber, acaba saturando o setor tanto no quesito qualitativo quanto quantitativo. Uma forma de melhorar estes indicadores está associado com a inserção de EMH cada vez mais tecnológicos com maior autonomia e segurança que são essenciais para qualquer projeto que envolva um equipamento médico hospitalar, inclusive possuindo uma norma internacional própria para tal, a IEC 60601-2-24 (ALVES, 2002).

Em termos de confiabilidade e segurança, é possível citar as etapas de monitoramento e gestão de alarmes de uma bomba de infusão. A literatura mostra um elevado número de alarmes relacionados a bombas infusoras, o que gerou o interesse de Franco *et al.* (2018) em realizar uma pesquisa para identificar os problemas relacionado a alarmes em bombas de infusão.

Este tema é de suma importância, ainda mais se tratando de unidades de tratamento intensivo, mas que pode ser estendido a outros setores hospitalares, onde se trabalha sobre o conceito de fadigas de alarmes, que se caracteriza, dentre outras,

pela falta de resposta ou do retardo no tempo dos profissionais de saúde aos alarmes. Esse fenômeno ocorre devido ao grande número de alarmes, resultando em sobrecarga sensorial e dessensibilização, o que gera um impacto negativo da assistência e pode comprometer a segurança do paciente (FRANCO *et al*., 2018).

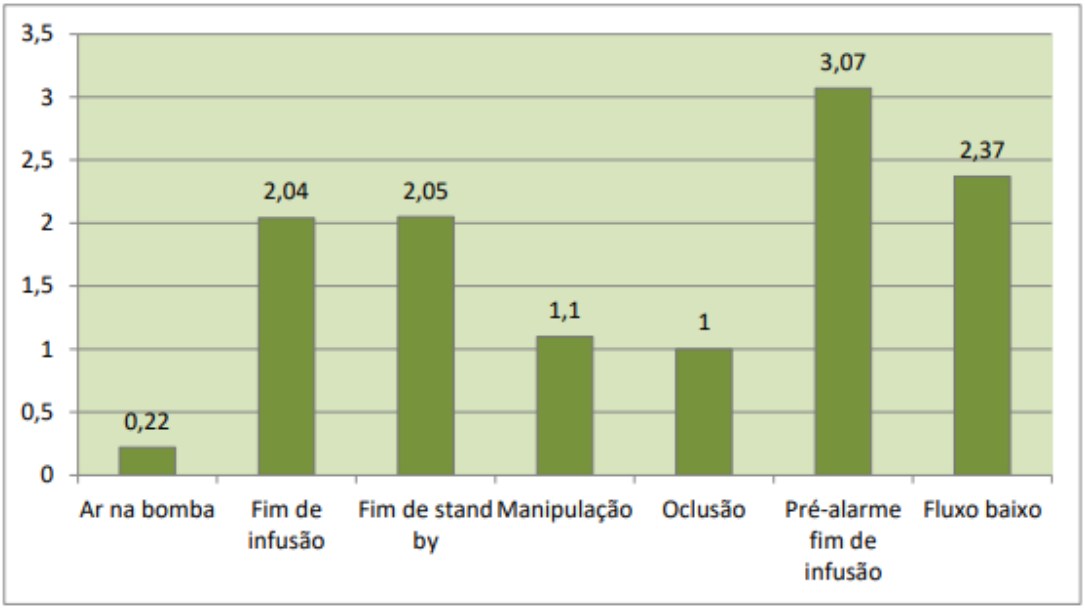
Especificamente, os alarmes das bombas de infusão alertam para algum problema com as soluções infundidas ou notificam a proximidade do seu término. Grande parte dos alarmes que soam é considerada como alarmes inconsistentes ou com utilidade limitada, podendo levar os profissionais a não valorizarem e não atenderem ao alerta (FRANCO *et al*., 2018), afinal, tratam-se de vários tipos de alertas sonoros, soando simultaneamente em um mesmo ambiente.

A pesquisa de Franco *et al.* (2018) teve como cenário a unidade de pós-operatório de cirurgia cardíaca em um hospital federal de grande porte especializado em cardiologia, referência no estado do Rio de Janeiro durante o período de 40 horas, resultando em 72 amostras, dentre estas, 5 fadigadas que são amostras em que o tempo de atendimento após o alarme ultrapassou 5 minutos.

Na Figura 1 estão relacionados os alarmes mais presentes com seus respectivos tempos médios de resposta.

O alarme "fim de infusão" foi o mais presente, representando 40,7% da amostra. Esse dado é preocupante, uma vez que, em um pós-operatório, o uso de

Figura 1 - Média de tempo em minutos para atendimento ao alarme



Fonte: Franco *et al.* (2018)

sedativos, aminas vasoativas, dentre outros medicamentos de alto risco é comum e sua interrupção abrupta ou a demora na reposição da solução é um risco para o paciente, pois em muitas situações os medicamentos não são utilizados para manuten-«o da sua vida. O alarme ñfluxo bai pelo sensor de gotas está abaixo da taxa de infusão configurada, podendo ser causado por má utilização do equipamento e, ao disparar, interrompe a infusão. É um alarme importante para o estudo, visto que foi identificado um tempo médio de resposta elevado, próximo dos 2,37 minutos (FRANCO *et al*., 2018).

Na pesquisa realizada por Petagna e Tanaka (2014), foram identificadas as causas de falhas de bombas de infusão onde em foram coletadas e analisadas as informações de 382 bombas de infusão do banco de dados de um hospital em São Paulo, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Quantidade das bombas de infusão e de ordens de serviço

Tipo de bomba de infusão	Quantidade de bombas	Nº de ordens de serviço
Volumétrica	217	109
Seringa	151	406
Peristáltica	14	4

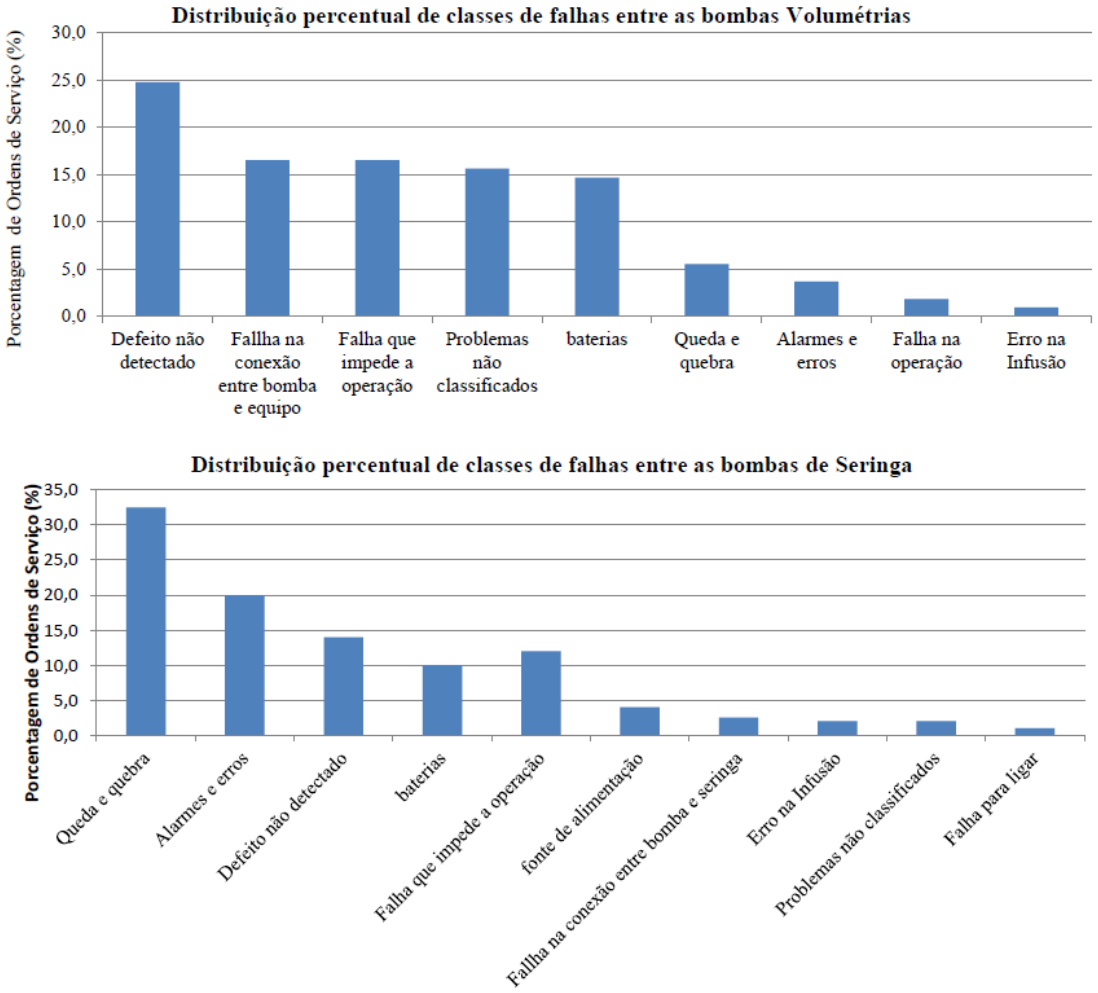
Fonte: Petagna e Tanaka (2014)

Visando entender quais os maiores fatores que ocasionam falhas em bombas de infusão, foi feito o levantamento de forma percentual, e ilustrada na Figura 2.

As bombas peristálticas, devido a sua pequena taxa amostral, não foram inseridas no estudo. Na Figura 2, é possível notar a alta taxa de alarmes geradas pelas bombas de infusão do tipo seringa, que acabam ocasionando em abertura de ordens de serviço de reparos. Defeitos não detectados são os chamados em que o defeito simplesmente não é evidenciado durante a análise técnica, por isso, foram descartados da análise.

Os sistemas de tele monitoramento são uma forma de ter um melhor controle sobre alguma variável física, podendo também ter controle remoto e ter a decisão de escolher uma solução em caso de ter um problema. As informações clínicas oportunas do paciente permitem um diagnóstico mais rápido para cada problema (DE PAZ, et.

Figura 2 - Distribuição percentual de classes de falhas entre bombas de infusão



Fonte: Petagna e Tanaka (2014)

al, 2017).

Com o objetivo de auxiliar na redução da taxa de incidentes relacionados a bombas de infusão e visando otimizar e auxiliar a qualidade da prestação do serviço na área da saúde, a proposta deste projeto é de implementar um sistema supervisório capaz de monitorar diversas bombas de infusão e apresentar seus *status* em monitores espalhados estrategicamente pelo ambiente hospitalar, com o objetivo de disponibilizar acesso a dados em tempo real, o que facilitará na tomada de decisões corretas em todos os níveis da administração. Uma visão geral do sistema pode ser vista na Figura 3.

O sistema consiste em um computador central, que trabalharia como cliente e requisitaria os dados de *status* das bombas de infusão através de comunicação serial

Figura 3 - Esquema básico do sistema a ser implementado

Fonte: Autor (2019).

e, a partir da resposta recebida, processaria e exibiria os dados em monitores espalhados em localidades estratégicas, a fim de disponibilizar os dados em tempo real para facilitar na tomada de decisão.

1.3 SISTEMA SUPERVISÓRIO PARA BOMBAS DE INFUSÃO

Neste projeto, a principal etapa de desenvolvimento consiste em estabelecer uma conexão entre diversos dispositivos seriais e a correta troca de dados entre a bomba de infusão e o sistema supervisório. Esta etapa é afetada diretamente pelas escolhas de:

a) *Software* de implementação do sistema supervisório;
b) Fabricante, modelo e tipo de bomba de infusão;
c) Método de prototipagem;
d) Dados de interesse;
e) Elementos gráficos para montagem da interface no supervisório.

1.3.1 Software de implementação do sistema supervisório

O *software* que será utilizado para projetar e executar o sistema supervisório será a ferramenta *InduSoft Web Studio HMI SCADA Development Software.* A escolha se deu devido ao fato de o mesmo ter sido abordado nas aulas da disciplina de

Sistema de Supervisão e Gerenciamento, ministradas na Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, e na ocasião, foi possível realizar as configurações necessárias para efetuar interações através de simulações de gerenciamento e supervisão de plantas fabris e processos de produção.

1.3.2 Fabricante, modelo e tipo de bomba de infusão

Foi destinado um longo tempo para decidir a melhor opção de fabricante de bombas de infusão para realizar este projeto. Dentre todos os requisitos básicos para a escolha, podem-se destacar: marcas mais difundidas no mercado, modelos que possuam interfaces de comunicação, disponibilidade de documentação técnica. Dentre as opções consultadas, pode-se listar os modelos B. BRAUN, HARVARD APPARATUS, LIFEMED, TEREFUSION e ALARIS.

A Tabela 2 mostra cada fabricante, modelo e preenchimento dos requisitos

Tabela 2 - Modelos de bomba e requisitos

Fabricante	Modelo	Difusão no mercado	Documentação técnica
ALARIS	GH	BAIXA	SIM
B. BRAUN	PERFUSOR SPA	ALTA	NÃO
HARVARD APPARAT	PHD ULTRA 440	NÃO TEM	SIM
LIFEMED	LF SMART	ALTA	NÃO
TEREFUSION	TF-171	BAIXA	NÃO

Fonte: Autor (2019)

básicos para a escolha.

As bombas dos fabricantes ALARIS e HARVARD APPARATUS foram as únicas que foram localizadas as documentações técnicas que incluíssem a descrição detalhada do protocolo de comunicação. Apesar de baixa popularização no mercado, a bomba do fabricante ALARIS é comercializada e utilizada no Brasil, e por este motivo acabou tendo a bomba de modelo GH como escolhida para o desenvolvimento do protótipo do sistema proposto.

Apesar de não terem sido escolhidas, existe a possibilidade de implementação das bombas dos fabricantes B. BRAUN, LIFEMED e TEREFUSION. O impeditivo se

dá pela falta de documentação técnica do protocolo de comunicação para implementação do código de requisição e leitura no supervisório. Contatos com o fabricante, distribuidores e assistências técnicas foram realizados para que pudesse obter a documentação, porém nenhum retorno foi dado até o presente momento.

1.3.3 Método de prototipagem

A comunicação entre sistema supervisório e bomba de infusão será realizada de forma simulada, de forma a viabilizar a realização do projeto.

Será utilizada uma ferramenta computacional de simulação de circuitos eletrônicos para emular[1] a bomba de infusão. Os parâmetros que nela serão inseridos para considerar válida a prototipagem virtual e razões para tais, serão vistos posteriormente. A ferramenta VSPE[2] (*Virtual Serial Port Emulator*) será a responsável por realizar a interligação entre o *software* de simulação de circuitos eletrônicos e o sistema supervisório Indusoft. Na Figura 4 observa-se um croqui da implementação virtual do sistema.

É possível perceber que, apesar da falta do protótipo físico, o sistema é facilmente passível de simulação uma vez que, todas as ferramentas computacionais

Figura 4 - Croqui do sistema em ambiente virtual

Fonte: Autor (2019)

[1] A técnica de emulação alia a controlabilidade e a observabilidade obtida com a simulação, e o baixo tempo de validação obtido com a prototipação.

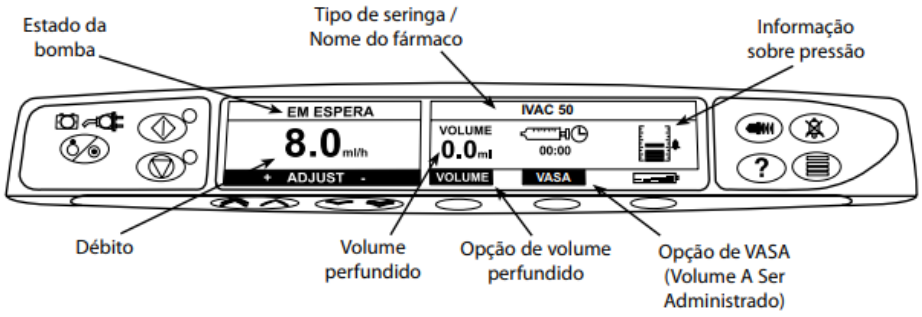
[2] *Virtual Serial Port Emulator* é um *software freeware,* que permite a interligação de portas seriais de maneira virtual sem a necessidade de cabos ou qualquer dispositivo físico.

estão disponíveis para facilitar e agilizar o andamento de um projeto. Apesar de não substituir uma montagem física, principalmente em função dos distúrbios que uma planta física pode sofrer, a emulação consegue validar a viabilidade de um sistema em um primeiro momento.

1.3.4 Dados de interesse

Os dados de interesse que foram escolhidos estão relacionados com todos os itens abordados até então, no decorrer desta monografia. Logo, alguns tipos de alarmes serão coletados e exibidos na IHM (Interface Homem-máquina) e, além destes, as informações mais importantes que estão disponíveis no *display* da bomba de infusão serão requisitadas pelo sistema supervisório e repassados ao profissional da saúde em tempo real. Na Figura 5, é possível ver todos os indicadores característicos da bomba de infusão.

Figura 5 - *Display* da bomba Alaris GH e seus indicadores



Fonte: Asena (2005).

Todos os *status* possuem uma codificação no protocolo de comunicação para requisição e resposta. Os métodos e resultados para a obtenção das informações da bomba serão abordados no decorrer desta monografia.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A implementação virtual abordada neste projeto exige o conhecimento de várias áreas associadas ao setor de controle e automação. Os diferentes tipos e conceitos de funcionamento de bombas de infusão também são de suma importância e refletirão diretamente no resultado final.

O entendimento correto de um sistema SCADA e o aprofundado estudo de suas linguagens e métodos de programação e configuração de processos internos, sub-rotinas e bibliotecas são primordiais para uma correta interface entre profissional e equipamento.

Por se tratar de um experimento simulado com microcontrolador, serão abordados alguns pontos sobre os principais recursos utilizados para deixar a simulação mais próxima possível da realidade como bibliotecas, o recurso do CRC no protocolo de comunicação e sua biblioteca, dentre outros.

O estudo de um sistema supervisório para bombas de infusão é justificável, não somente pelo histórico de pesquisas na área de EMH que serão abordadas posteriormente, mas também por razão dos próprios fabricantes inserirem opcionais de comunicação externa em seus produtos, o que mostra que é possível este tipo de sistema se tornar usual.

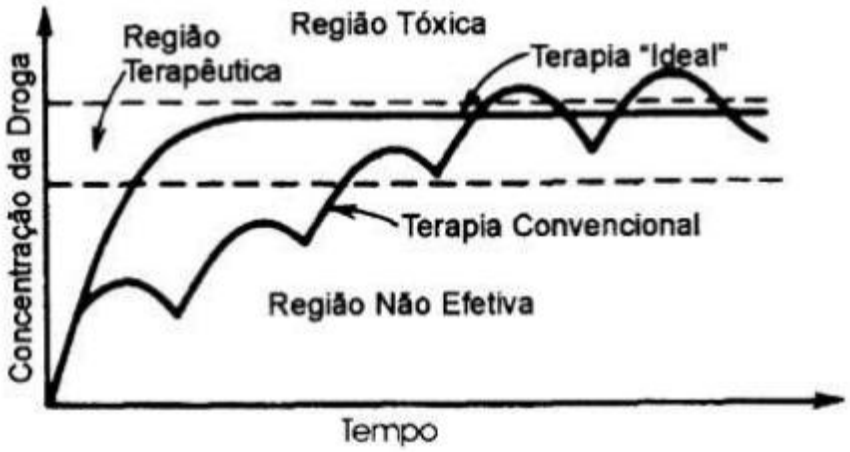
2.1 BOMBAS DE INFUSÃO

A introdução de medicamentos é feita, tradicionalmente, através de pílulas por razões de falta de equipamentos adequados e redução de custos. Este tipo de terapia, se comporta em ciclos pulsativos (AMORIM, 2014), conforme pode ser visto na Figura 6.

Na terapia convencional, por vários instantes diferentes, a concentração da droga ultrapassa os valores que delimitam as regiões tóxicas e não efetivas, ao contrário da terapia ideal controlada, que se comporta de forma logarítmica com a concentração ideal e mantem-se na região terapêutica de forma constante (AMORIM, 2014).

Um sistema de infusão pode ser indicado tanto no tratamento de medicamentos de administração intermitentes, como no caso dos antibióticos, ou seja, quando o

Figura 6 - Comparação da concentração da droga x tempo.



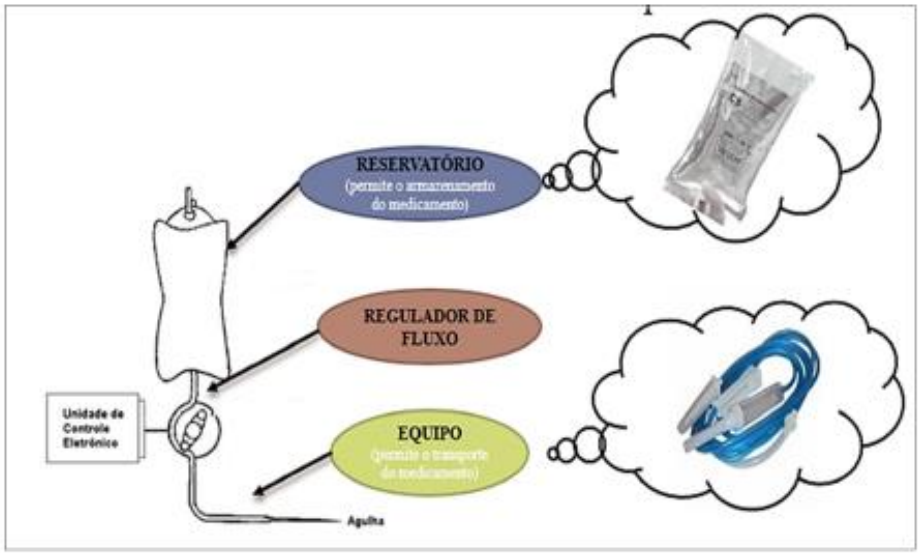
Fonte: Amorim (2014).

tratamento terapêutico de um paciente exige que a administração de um medicamento seja constante e em um período determinado, quanto contínua, como é o caso dos anestésicos (RODRIGUES, 2014).

Na Figura 7, são apresentados os componentes básicos de um sistema de infusão controlado por gravidade.

A agulha consiste na sonda de materiais diversos, que pode ser flexível ou rígido, introduzida em canais ou cavidades do corpo para injetar líquidos, efetuar

Figura 7 ï Componentes básicos de sistema infusão controlado por gravidade



Fonte: Rodrigues (2014)

investigações, esvaziar cavidades, dentre outros. O equipo é o dispositivo que transporta o líquido do reservatório para o paciente, e varia conforme o fabricante. O regulador de fluxo é o mecanismo peristáltico rotativo que promovem a compressão do equipo regulando a vazão do líquido e por fim, o reservatório onde o medicamento a ser infundido no paciente é armazenado (ABNT, 1999).

Devido a necessidade de constante acompanhamento de profissional da saúde no monitoramento do tratamento, acrescido das adversidades causadas pela simplicidade do sistema de controle por gravidade, a bomba de infusão é largamente utilizada nos EAS para infundir líquidos como nutrientes ou medicamentos, por meio do controle da taxa de fluxo e do volume nas vias venosa, arterial ou esofágica. Através de pressão positiva gerada pela bomba, é possível regular o fluxo de líquidos administrados ao paciente. Geralmente os medicamentos infundidos são: anestésicos, agentes quimioterápicos, sedativos, ou intermitentes como alimentos antibióticos (RODRIGUES, 2014).

As bombas de infusão são utilizadas para a administração de fluidos. Este método é utilizado quando surge a necessidade de precisão na infusão ou fluxos mais elevados que aqueles normalmente possibilitados pelo método de administração por gravidade, e isso que os difere, o fato de os métodos de infusão não dependerem da gravidade para alcançar a pressão desejada, pois ela é obtida através do acionamento de algum dispositivo peristáltico (ALVES, 2002).

Nos EAS, há três tipos de bombas de infusão comumente utilizados que serão abordados posteriormente, cada um com suas características e aplicações, porém com a mesma exigência no quesito eficiência: Bombas de infusão peristáltica, de seringa e ambulatoriais.

2.1.1 Bombas de infusão peristáltica

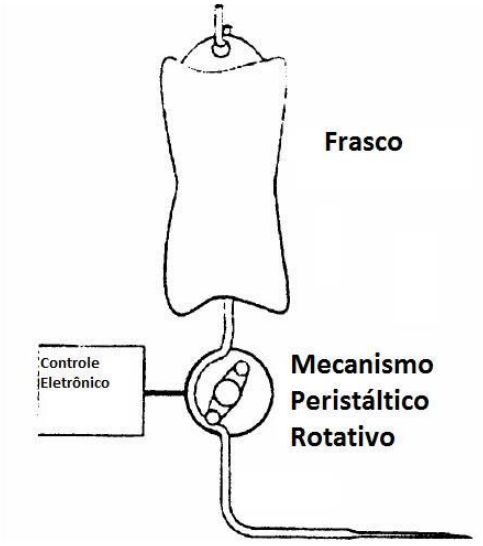
A eletrônica analógica possibilitou uma evolução de dispositivos peristálticos na década de 1970, que juntamente com a evolução dos motores de corrente contínua aumentaram a exatidão dos equipamentos. Na década de 1980, os motores de passo aplicados à eletrônica digital passaram a fazer parte das bombas de infusão e, na década de 1990, com o surgimento dos sensores e técnicas de controles clássico,

possibilitou-se um maior controle da calibração e os equipamentos possuíam maior exatidão. Os dispositivos peristálticos podem ser classificados em sistemas peristálticos rotativos e lineares (JUNIOR, 2015).

2.1.1.1 Bombas peristálticas rotativas

A compressão do tubo maleável através de vários rolos fixados em um eixo central é o modo de funcionamento da bomba peristáltica rotativa, onde esse eixo gira e faz com que os rolos gerem a pressão positiva quando passam pelo tubo em atrito constante (JUNIOR, 2015). A Figura 8 ilustra o mecanismo peristáltico rotativo.

Figura 8 - Modelo peristáltico rotativo

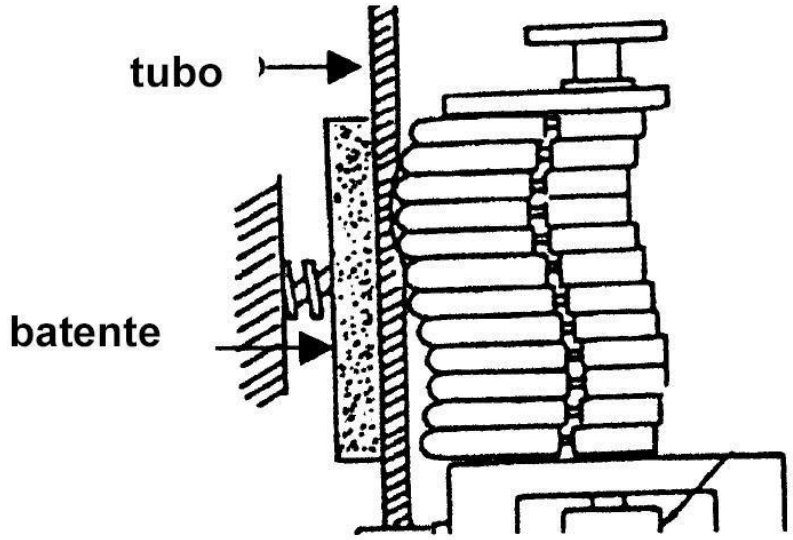


Fonte: Junior (2015)

2.1.1.2 Bombas peristálticas lineares

De acordo com Junior (2015), as bombas peristálticas lineares são compostas por várias hastes que, ao se alinharem, pressionam o equipo em um batente fixo rígido para conseguir gerar a pressão no tubo, conforme ilustrado na Figura 9.

Figura 9 - Modelo peristáltico linear



Fonte: Junior (2015)

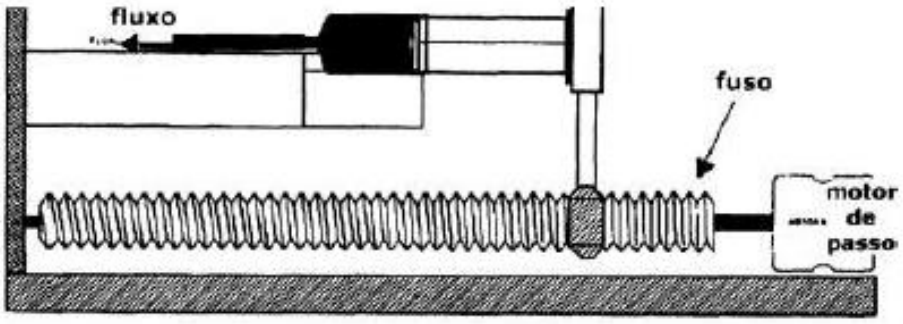
O líquido contido no tubo sofre a compressão dos batentes, que variam em quantidade dependendo exatidão da mesma e assim, o líquido é infundido pela pressão positiva gerada (JUNIOR, 2015).

2.1.2 Bombas de infusão de seringa

A bomba que injeta o fluído através de uma seringa, com velocidade controlada através do avanço do êmbolo feito por um motor de passo é conhecida como bomba de infusão de seringa. Elas são utilizadas para situações que exijam um alto grau de precisão e fluxo contínuo. A precisão se dá por motivo de que é possível saber, com exatidão, qual o volume infundido no paciente através da relação de volume por passo do motor (AMORIM, 2014). Na Figura 10 é possível ver a ilustração de uma bomba do tipo seringa.

O motor de passo permite ajustes finos através da sequência que é inserida em seus terminais de alimentação, resultando na rotação do seu eixo que está acoplado a um varão roscado sem fim preso em uma rosca ligada diretamente no êmbolo da seringa que realiza a compressão do líquido a ser inserido no paciente efetuando o processo de infusão (AMORIM, 2014).

Figura 10 - Bomba de infusão de seringa



Fonte: Amorim (2014).

2.1.3 Bombas de infusão ambulatoriais

Bomba de infusão ambulatorial é um equipamento destinado para infusão controlada de líquidos, sendo portado continuamente pelo mesmo (ABNT, 1999). Elas administram os fluidos através de reservatórios compressíveis ou seringas. Estes reservatórios possuem dimensões reduzidas, possibilitando assim, o tratamento em sua própria residência, não tendo que alterar sua rotina diária de vida em função do tratamento (JÚNIOR, 2004).

De acordo com Júnior (2004), existem cinco tipos de bombas de infusão ambulatoriais, são eles:

a) Tipo I: apenas fluxo contínuo;
b) Tipo II: apenas fluxo não contínuo;
c) Tipo III: proporciona administração discreta de bolus;
d) Tipo IV: fluxo contínuo com administração de bolus podendo apresentar as características dos tipos I e II;
e) Tipo V: permite programar o perfil de infusão.

Na Figura 11 é ilustrada uma bomba de infusão ambulatorial.

2.2 SISTEMAS SCADA

O termo SCADA proveniente de *Supervisory Control And Data Acquisition*, traduzido como Controle Supervisório e Aquisição de Dados, remete ao processo de

Figura 11 - Modelo de bomba de infusão ambulatorial

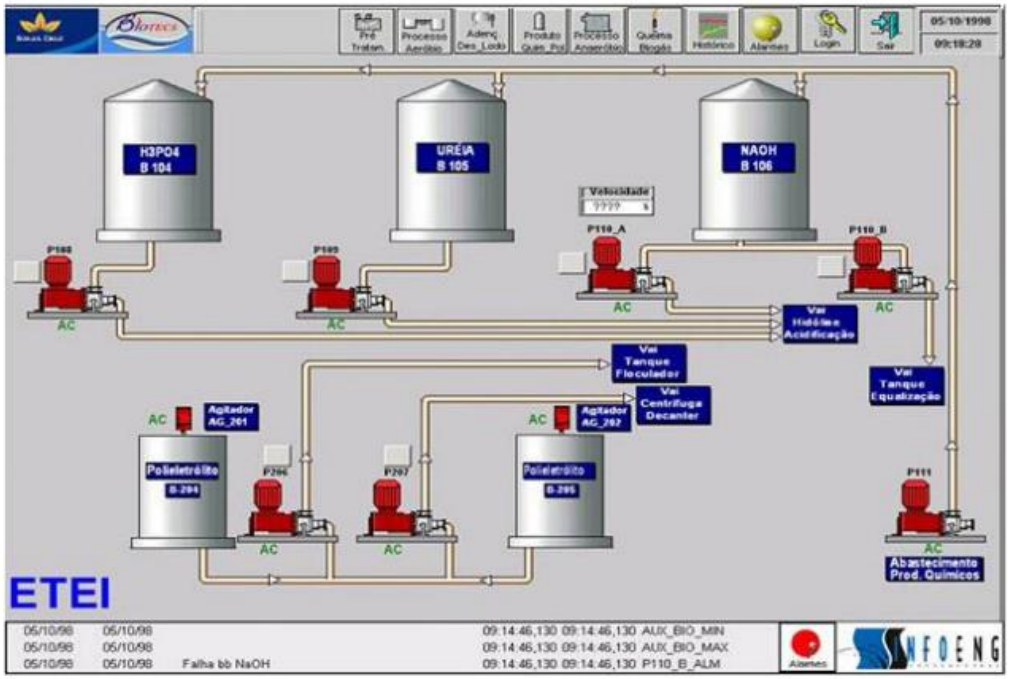
Fonte: Júnior (2004) apud Dissetronic (2003).

monitorar a distância uma atividade, transmitindo e recebendo diretrizes de operação aos controladores localizados em locais distantes.

A Figura 12 apresenta um exemplo de um sistema de supervisão responsável pela comunicação do operador com várias etapas do processo, sem a necessidade de presença física no local. Com ele, dispositivos, automatizados ou não, podem sofrer intervenções de computadores com funções pré-programadas ou de controladores quaisquer (PRADO; FERRAZ, 2013).

Os softwares SCADA possuem muitos recursos prontos. São objetos de

Figura 12 ï Exemplo de tela de um sistema supervisório SCADA



Fonte: Prado; Ferraz (2018).

interface com o usuário como telas, botões, campos de entrada de valores, gráficos, interface com banco de dados, servidor de alarmes, *drivers*, fórmulas e muitas outras facilidades. As atribuições de um sistema SCADA são basicamente controle, monitoração e supervisão (PRADO; FERRAZ, 2018). Apesar da grande variedade de ferramentas prontas, o grande potencial em um sistema supervisório está na possibilidade de programação *background* ï programas que rodam paralelos e em segundo plano à aplicação principal ï que serão abordadas posteriormente.

Apesar de não ser o foco deste projeto, cabe salientar que o desenvolvimento da computação móvel e o preço acessível colaborou com o surgimento de novas aplicações através de aparelhos como celulares e *tablets*, o que possibilitou para as empresas a sua utilização como plataformas computacionais para instalação e operação de sistemas supervisórios (PEROZZO; PEREIRA,2006).

2.3 VISUAL BASIC SCRIPT LANGUAGE

O *Visual Basic Script Language* (VBScript) é uma das linguagens de *script* da Microsoft. A ferramenta InduSoft Web Studio (IWS) é padronizado em VBScript, uma vez que fornece um subconjunto significativo da funcionalidade do Microsoft Visual Basic. Além disso suporta todas as plataformas de sistema operacional da Microsoft, incluindo o Windows CE, ao contrário do VBA (*Visual Basic for Applications*) que não pode suportar o ambiente de tempo de execução do Windows CE (INDUSOFT, 2007). VBScript é uma linguagem de programação que é frequentemente vista como um dialeto do VBA, embora tenha suas características próprias. Os códigos VBScript são colocados em um ou vários módulos, baseado na funcionalidade a ser executada e o

Figura 13 - Diferenças entre VBA e VBScript

Item	VBA	VBScript
Proposta primária	Automação de Aplicações do Microsoft Office	Automação de serviços *Web*
Suporte ao Windows CE	Não	Sim
Dimensionamento de variáveis	Dim Var as Type	String, Integer, Date, Boolean, etc Dim Var as Type Dim Var (Não se pode especificar o tipo, que é feitc automaticamente conforme a aplicação)
Declaração de Classes	Módulos de clase devem ser separados	Declaração de blocos de classes suportada
Strings	Tamanho fixo	Tamanho variável

Fonte: adaptado de Indusoft (2007).

escopo do código e suas variáveis. A Figura 13 mostra um breve resumo das diferenças entre VBA e VBScript (INDUSOFT, 2007).

Para aplicações HMI / SCADA, essas diferenças são relativamente menores, porém o suporte VBScript para o sistema operacional Windows CE é o diferencial de destaque entre os dois produtos (INDUSOFT, 2007).

2.4 REFERENCIAIS DE PESQUISA

Dentre as pesquisas que englobam o tratamento de dados de bombas de infusão, destaca-se a dissertação de mestrado de Sidney Aciole Rodrigues da Universidade Federal de Campina Grande, cujo título é: Sistemas de acionamento para bombas de infusão de múltiplos canais. O foco de sua pesquisa é de um protótipo multicanal de uma bomba de infusão que pode ser programada utilizando dados obtidos a partir de um serviço web.

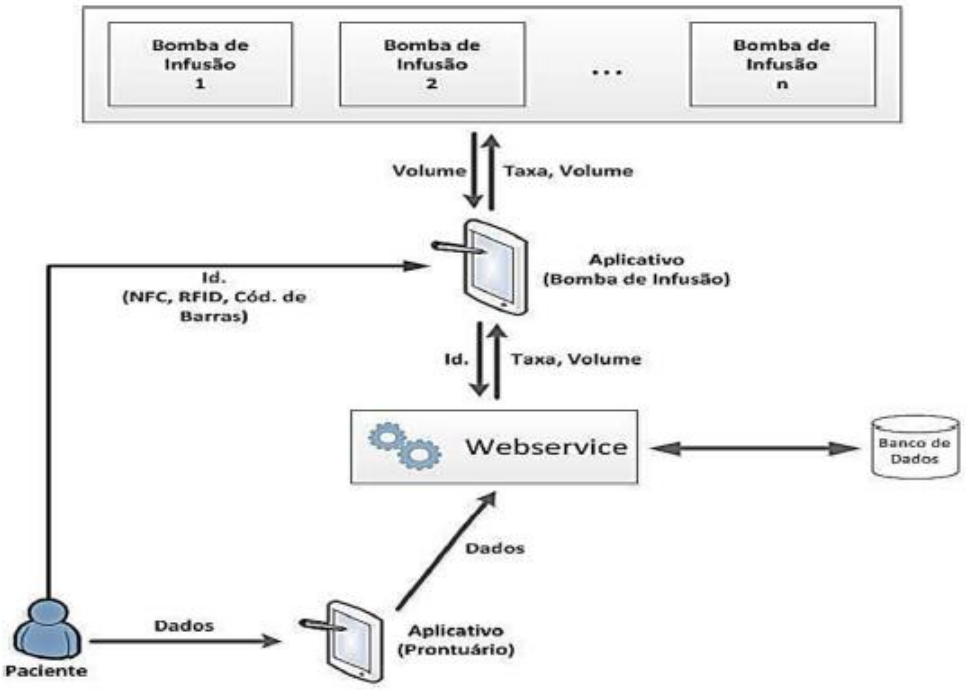
A melhoria na interação entre profissional e equipamento também é objeto de estudo de Thiago Roberto Goularte da Universidade Federal de Santa Catarina com a pesquisa para trabalho de conclusão de graduação: Central de monitoramento para bombas de infusão, em que consiste no desenvolvimento de um sistema de monitoramento sem fio para a bomba de infusão ST 550T2.

2.4.1 Sistemas de acionamento para bombas de infusão de múltiplos canais

A especificação arquitetural apresentada por Rodrigues (2014) foi validada através do desenvolvimento de um protótipo multicanal de uma bomba de infusão que pode ser programada utilizando dados obtidos provenientes de um serviço *web*, por meio de um aplicativo de celular, como controle remoto, que permita mudar os parâmetros de infusão de acordo com dados da prescrição médica. A Figura 14 mostra a especificação arquitetural do sistema proposto.

Através de uma aplicação embarcada em um dispositivo móvel, os dados de um paciente são colhidos e inseridos no prontuário médico eletrônico e, posteriormente, são recuperados pelo sistema de controle e utilizados para acionar um dos canais de uma bomba de infusão. Os profissionais de saúde, coletam os dados

Figura 14 - Especificação arquitetural do sistema proposto



Fonte: Rodrigues (2014).

que irão compor o prontuário médico do paciente, gerando um importante histórico.

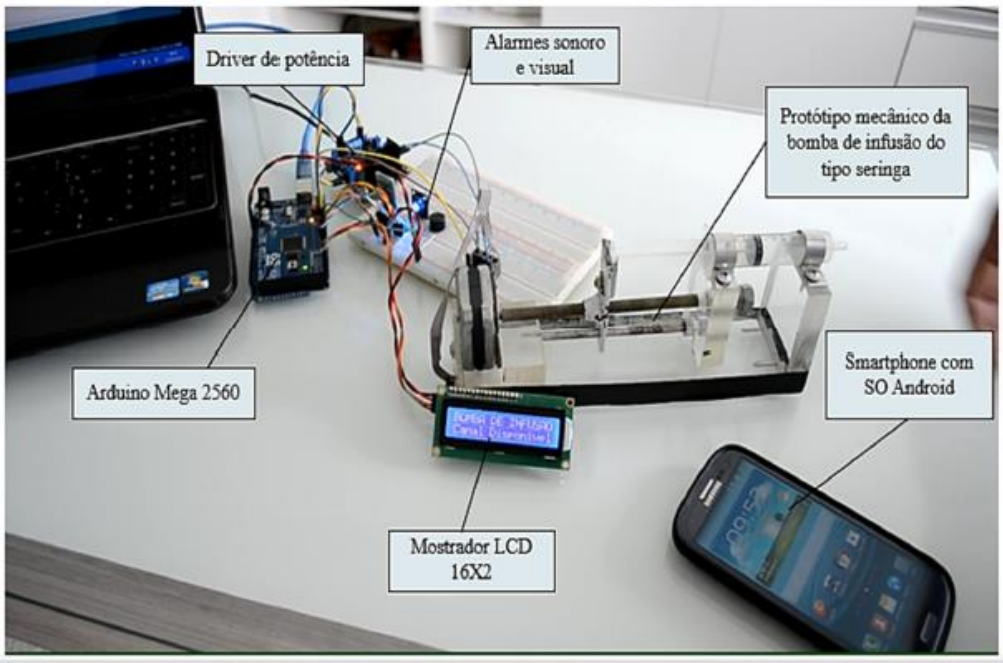
Um prontuário médico eletrônico representa a capacidade de compartilhar informações médicas entre estes vários profissionais. Usando os métodos de comunicação adequados, os dados obtidos por aparelhos que monitoram sinais vitais podem ser automaticamente enviados ao sistema de gerenciamento de informações e atualizados no prontuário médico eletrônico do paciente. Todas as informações podem ser recuperadas por meio de uma consulta, e usadas para controlar os dispositivos de administração de medicamentos. Na Figura 15, é possível ver a montagem experimental da bomba de infusão do tipo seringa.

A validação foi feita através de teste qualitativo, onde foram inseridas configurações diversas e verificadas se as mesmas correspondiam ao valor desejado.

2.4.2 Central de monitoramento para bombas de infusão

O objetivo apresentado por Goularte (2018) é de desenvolver um sistema de

Figura 15 - Protótipo utilizado por Sidney Rodrigues para validação



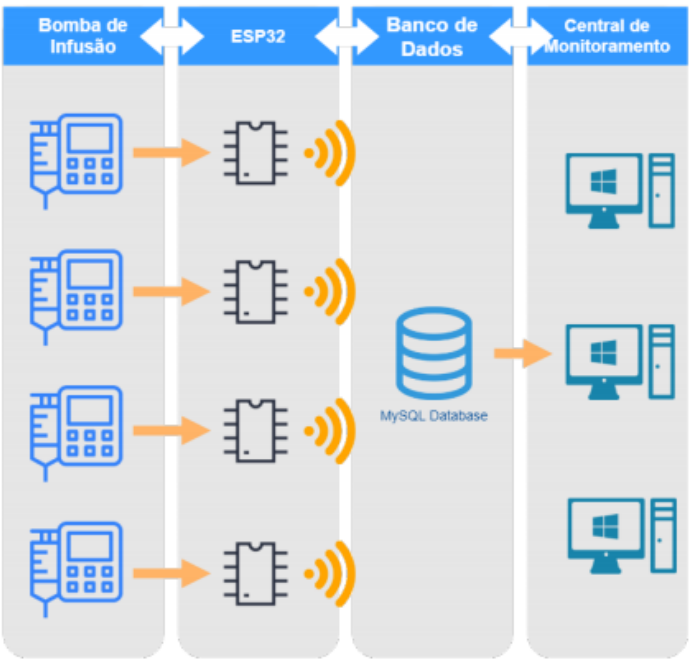
Fonte: Rodrigues (2014).

monitoramento sem fio para a bomba de infusão modelo ST 500T2 de forma a obter um maior controle nos procedimentos de infusão, através das seguintes etapas: Leitura dos sinais da bomba, processamento e envio dos dados, criação e gerenciamento de um banco de dados com o MySQL e criação de uma interface gráfica da Central de Monitoramento com uma aplicação .NET Framework para Windows. A estrutura do projeto proposto pode ser vista na Figura 16.

O software da central de monitoramento foi desenvolvido no Visual Studio utilizando a plataforma .NET Framework com a linguagem C#. Por fim, foi desenvolvida uma placa de circuito impresso que realiza a interface de conexão entre a bomba o ESP32 de forma que seu encaixe é simples e pouco invasivo para a bomba de infusão. A aquisição de dados foi feita através de uma barra-pinos fêmea no barramento interno de comunicação da bomba de infusão e leitura dos dados que eram transferidos (GOULARTE, 2018). Na Figura 17 é possível ver a montagem experimental para leitura no barramento da bomba de infusão desmontada

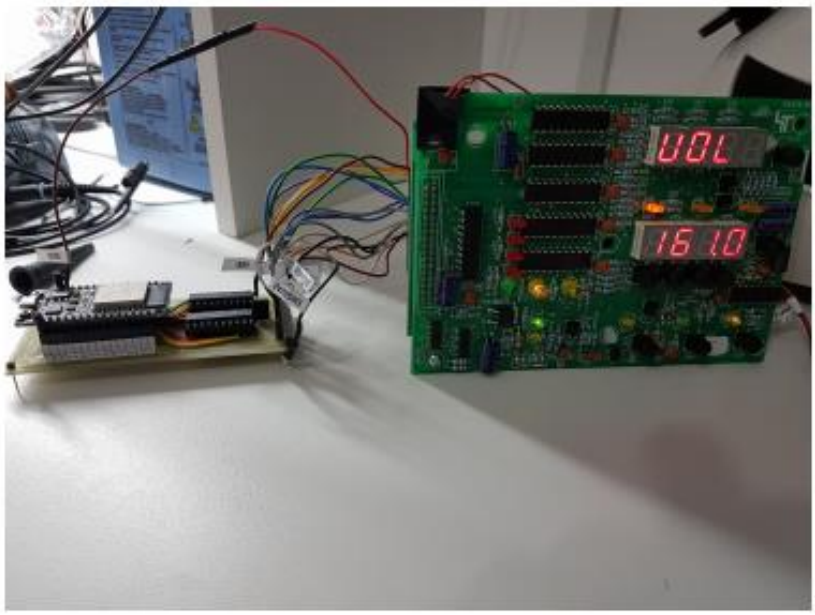
O protótipo desenvolvido atendeu às expectativas previamente determinadas com algumas implementações pendentes, porém conseguiu realizar a tarefa para o qual foi desenvolvido: monitorar uma bomba de infusão de forma remota.

Figura 16 - Estrutura do projeto proposto



Fonte: Goularte (2018).

Figura 17 - Montagem do protótipo do sistema de Thiago Goularte



Fonte: Goularte (2018)

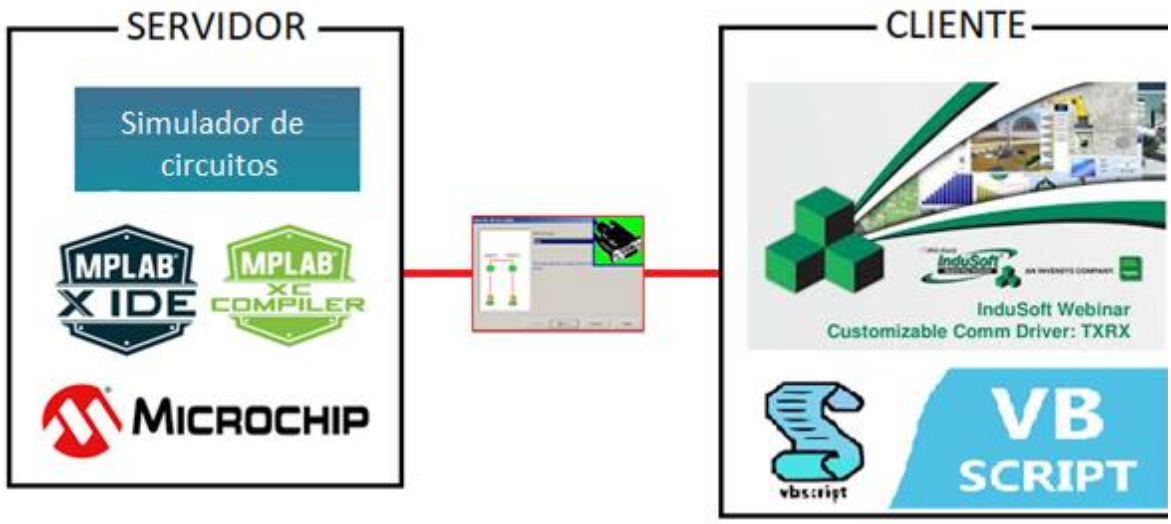
3 MÉTODOS

O método aplicado será o qualitativo e o processo para validação do sistema consistirá em etapas bem definidas e que podem ser listadas a seguir:

a) Análise da bomba de infusão Alaris GH e definição dos dados desejados;
b) Estudo do protocolo da bomba de infusão Alaris GH;
c) Programação do microcontrolador no ambiente MPLABX IDE em conjunto com o compilador XC8 e simulação na ferramenta virtual, substituindo assim, o servidor ï bomba de infusão física ï respondendo às requisições do cliente, que neste caso é o supervisório;
d) Configuração de bibliotecas e tratamento dos dados no sistema supervisório;
e) Interligação entre os dispositivos virtuais.

Cada uma destas etapas será descrita nas seções seguintes. Na Figura 18 é apresentado um diagrama de blocos com as ferramentas utilizadas em cada elemento do sistema simulado.

Figura 18 - Ferramentas utilizadas em cada elemento do sistema simulado.



Fonte: Autor (2019)

3.1 ANÁLISE DA BOMBA ALARIS GH E DEFINIÇÃO DOS DADOS

A bomba de infusão de seringa Alaris GH é compatível com uma vasta gama

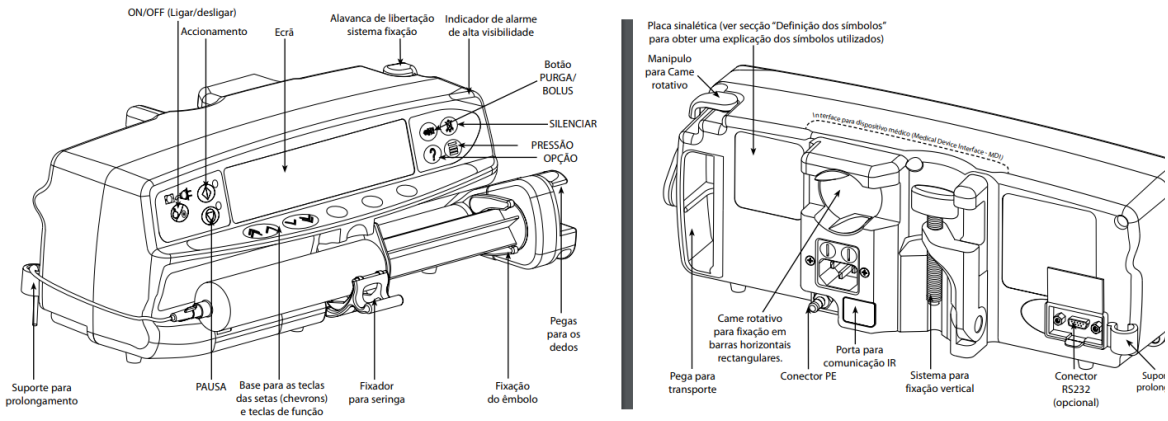
de seringas de 5ml até 50ml e é indicada para a aplicação de produtos terapêuticos incluindo analgésicos, antimicrobianos, produtos sanguíneos, quimioterapia, alimentação dentre outros (ASENA, 2005).

Na Figura 19 tem-se as características físicas da bomba de seringa Alaris GH apresentadas de forma ilustrada.

A comunicação RS232 é uma característica opcional nas bombas de seringa Alaris. Com ela, é possível o controle e monitoramento da bomba remotamente através de um sistema adequado. Quando este opcional é utilizado, a comunicação deve ocorrer a cada 15 segundos, caso contrário a bomba emitirá um alarme, exibirá uma falha na comunicação e encerrará a administração da perfusão. Essa característica serve para proteção contra alguma falha de comunicação, incluindo a remoção do cabo de comunicação (ASENA, 2005).

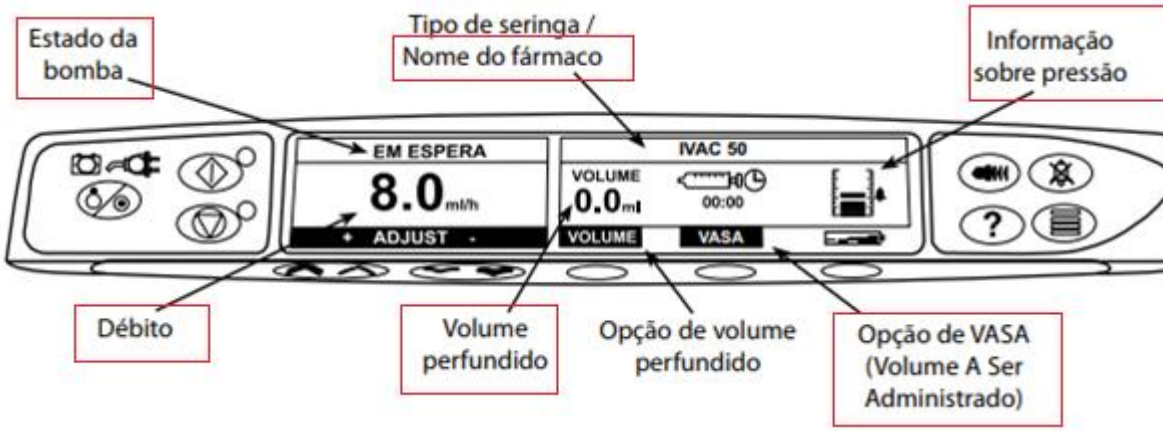
A comunicação externa fornece todos os dados previstos em manual técnico. Apesar de ser possível realizar o controle remoto da bomba de infusão, este projeto consiste em apenas o monitoramento a distância, a fim de evitar a redução na interação presencial entre profissional da saúde e paciente. Deste modo, foi definido que as informações mais importantes e que possuem maior nível de variação serão as monitoradas no sistema remoto. Estas informações estão destacadas na Figura 20. Cabe salientar que esta versão inicial será monitorada somente os dados destacados. Isto deixa como uma possibilidade para pesquisas futuras a possibilidade de monitoramento de outros dados e definição de ações em cima de valores coletados. Na Figura 21 são apresentadas as especificações da conexão externa da

Figura 19 - Características físicas da bomba de seringa Alaris GH



Fonte: adaptado de Asena (2005).

Figura 20 - Itens que serão monitorados no supervisório



Fonte: adaptado de Asena (2005).

bomba Alaris.

Figura 21 - Especificações da conexão externa RS232 da bomba Alaris.

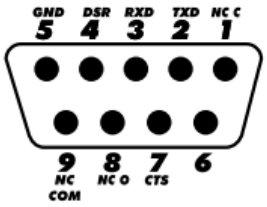
RS232/ Dados de ligação da chamada de enfermeiros

Especificação de chamada de enfermeiros -

Conector	Tipo D - 9 Pinos
TXD/RXD	Padrão EIA RS232-C
Amplitude da tensão de saída TXD	Mínima: -5V (marca), +5V (espaço) Típica: -7V (marca), +7V (espaço) com carga de 3KΩ de ligação à terra
Amplitude da tensão de entrada RXD	-30V - +30V máx.
Tensão de limiar de entrada RXD	Baixa: 0,6V mínimo / Alto: 3,0V máximo
Resistência de entrada RXD	Mínimo 3KΩ
Accionada	Activa, baixa:-7V a -12V Activa, alta:+7V a +12V acciona os circuitos RS232 isolados Inactiva: circuito aberto/flutuante, permite que os circuitos isolados RS232 se desactivem.
Tomada de isolamento/ bomba	1,5kV (cc, ou valor máximo ca)
Velocidade de transmissão	38,4 kBaud
Bits de arranque	1 bit de arranque
Bits de dados	8 bits de dados
Paridade	Sem paridade
Bits de Stop	1 bit de stop
Chamada de enfermeiros	Pinos 1, 8 + 9, 30V c.c., valor nominal de 1A

Dados de uma conexão típica -

1 Chamada de enfermeiros (relé) normalmente fechada (NC C
2 Saída de transmissão de dados (TXD)
3 Entrada de dados recebidos (RXD)
4 Entrada de alimentação (DSR)
5 Condutor de terra (GND)
6 Não utilizado
7 Entrada de alimentação (CTS)
8 Chamada de enfermeiros (relé) normalmente aberta (NC A)
9 Chamada de enfermeiros (relé) normal (NC COM)



Fonte: adaptado de Asena (2005).

3.2 PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO BOMBA DE INFUSÃO ALARIS GH

O correto entendimento do protocolo de comunicação em que a bomba de infusão opera é o caminho crítico para o sucesso da implementação de todo o sistema. A Figura 22 mostra a definição dos termos relativos ao conceito utilizado para a comunicação serial de uma bomba de infusão Alaris.

Resumidamente, é definido que o cliente é quem requisita os dados, servidor é

Figura 22 - Lista de termos para implementação de comunicação

1.2 Definição dos termos

Cliente	Neste contexto, o cliente é alguma espécie de computador (ex.: um sistema de gerenciamento de dados de pacie Em alguns casos, o cliente pode ser outra bomba de infusão (e.: algum modelo que tenha a função "aprender", q habilita que uma bomba de infusão configure a si mesma baseada na configuração de outra "mentora").
Servidor	Em todos os casos o servidor é uma bomba de infusão de seringa Asena
Comando	Qualquer mensagem originada pelo cliente para o servidor
Resposta	Uma mensagem originada do servidor, que contem as respostas correspondentes ao comando mais recente

Fonte: Asena (2005).

quem responde os dados requisitados pelo cliente e neste caso, é sempre a bomba de infusão. Comando é a mensagem enviada do cliente para o servidor, e resposta é a mensagem enviada do servidor ao cliente.

O *frame* de comandos e respostas que o fabricante Alaris aplica para este tipo de comunicação pode ser visto na Figura 23.

O *frame* de dados é dividido entre o caractere de início de transmissão, o conteúdo da mensagem, caractere delimitador que separa a mensagem do *frame* de verificação CRC e, por fim, o caractere de final de transmissão *carriage return*.

Para coleta de informações desejadas, o cliente deverá enviar o comando referente ao dado que se deseja obter. Este comando é atribuído na etapa do pacote *Application Layer Data*. Na Figura 24, pode-se ver quais os comandos que serão utilizados para a requisição dos parâmetros desejados.

Todos os parâmetros que deseja-se disponibilizar aos profissionais da saúde estão presentes nas respostas dos comandos INF e ALARM. Na Figura 25 é possível

Figura 23 - Estrutura do *frame* de dados

3.1 Estrutura do *frame*

Início do *Frame*	Dado da aplicação	*Frame* Delimitador	*Frame* de verificação de sequência	Pacote de terminação
1 caractere deponto de exclamação ("!")	1 até 121 characteres do protocolo ANSI	1 caractere barra vertical ("|")	4 caracteres hexadecimais	1 caractere de retorno de carro (0x0D)

Para toda detecção de um início de *frame* , é esperada a liberação de todos os dados armazenados em *buffers* e o armazenamento dos novos da

Código dos caracteres	Descrição
20h, 22h, até 2Fh, 3A até 40h, 58h até 60h, 7Bh, 7Dh até 7Eh	Caracteres de pontuação
30h até 39h	Caracteres numéricos
41h até 5Ah, 61h até 7Ah	Caracteres alfabéticos maiúsculos e minúsculos
80h até FFh	Caracteres especiais de comunicação

Fonte: Adaptado de Asena (2005).

Figura 24 - Comandos que serão enviados a bomba

Parâmetro	Descrição	Mensagem para o servidor	Resposta do servidor
ALARMES			
ALARM	Requisita descrição do último alarme	ALARM	ALARM^<AlarmCode>^<AlarmOrigin <AlarmNature>
INF	Requisita *status* de infusão.	INF	INF^<InstSerialNo>^<AlarmNotifica
	Número de série da bomba de infusão de seringa		tion>^<InfusionMode>^<InfusionRat
	Alarme/*Status* de evento		alue>^<InfusionRateIunits>^<DrugN
	Modo de infusão atual		e>^<VI_Value>^<VI_Units>^<Pressur
	Fluxo da infusão		lue>^<PressureInutis>^<InfusionTim
	Nome do medicamento		maining>^<LogType>^<LatestLogEntr
	Volume que foi infundido		
	Pressão da linha		
	Tempo de infusão restante		
	ID da última entrada de *log* de eventos		

Fonte: Adaptado de Asena (2005).

ver quais as respostas que a bomba de infusão deve fornecer, com a quantidade de caracteres e respectivas descrições.

A partir dos dados de respostas que a bomba de infusão deve oferecer, é possível estipular quais os dados que serão inseridos no microcontrolador para a simulação mais próxima da realidade possível.

Para a requisição dos alarmes, há uma lista de nomenclaturas fixas que a bomba responde para o cliente. Serão estes os identificadores que serão coletados para que o supervisório identifique e realize a exibição na tela do profissional da saúde dos alarmes principais, e serão monitorados a longa distância. Na Figura 26 são mostrados os mnemônicos dos alarmes.

Figura 25 - Respostas da bomba de infusão aos comandos

4.2 Estrutura do campo

Parâmetro	Descrição	Formato		Tamanho má
<AlarmCode>	Identifica a natureza do alarme em uma linguagem independente	Veja tabela de Mnemônicos		10
<AlarmNature>	Descrição da natureza do alarme	Descrição em linguagem local		30
<AlarmNotification>	Este código reporta que algo significante aconteceu com a bomba de infusão	Mnemônico conforme a seguir		1
		1	Alarmando	
		0	Sem alarmes	
<AlarmOrigin>	Descrição da origem do alarme	Descrição em linguagem local		30
INFUSÃO				
<InfusionMode>	Identifica o modo de infusão atual	Mnemônico reduzido		3
		BAC	Backoff	
		BOL	Bolus	
		HLD	Hold	
		IND	Induzindo	
		KVO	KVO	
		MLD	Multidose	
		SET	Ajustar	
		TIT	Titulação	
<InfusionRateUnits>	As unidades associadas a taxa de infusão	Sequência de caracteres		6
<InfusionRateValue>	O valor associado a taxa de infusão	Sequência de caracteres representando número decimal		6
<InfusionTimeRemaining>	Especifica o tempo restante para finalizar a infusão atual	Tempo restante < 24h	IEC86601 - 24h	
<VI_Units>	As unidades associadas ao volume infundido	Sequência de caracteres		4
<DrugName>	Nome da medicação	Sequência de caracteres		20
<PressureUnits>	As unidades associadas com a pressão	Mnemônico conforme a seguir		4
		mmHg	Mmm de mercúrio	
		Pa	Pascal	
<PressureValue>	O valor associado com a pressão	Sequência de caracteres representando número decimal		
LOGGING				
<LatestLogEntryID>	A única identificação de mais recente entrada de *log*			
<LogType>	Identifica o tipo de comando de *log*	Mnemônico conforme a seguir		5
		EVENT	Log de eventos	
		KEY	Log de teclas	
		FLUID	Log de fluxo	
		SRVCE	Log de serviço	

Fonte: Adaptado de Asena (2005).

Figura 26 - Mnemônicos dos alarmes

4.3 Mnemônicos dos Alarmes

Mnemônico	Descrição
AL_ACDIS	Cabo de AC desconectado
AL_LWBAT	Bateria com pouca carga
AL_NEOIN	Infusão próxima do fim
AL_SYRCO	Alarme de seringa
AL_EOIST	Alarme de fim de infusão
AL_OCCLU	Alarme de oclusão

Fonte: Adaptado de Asena (2005).

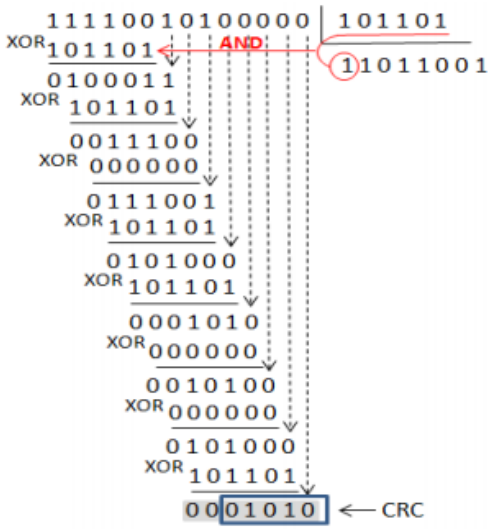
O *frame* de comunicação possui caracteres reservados ao CRC, sigla para *Cyclic Redundancy Check*, é um método para detectar algum tipo de erro em trocas de dados. Neste tipo de verificação, os *bits* são calculados pelo transmissor e adicionados aos campos no *frame* destinados a eles e transmitidos junto com os

pacotes válidos da informação.

Para calcular o CRC-16, que é o utilizado na bomba de infusão, deve-se transformar os bits de dados no polinômio B(x) = ώ٭ώ٠ط ώ٭ώ٠ط Ẽ ώ٭ط de grau n-1, onde os coeficientes [ώ٭ώ٭.. , ώ٭ط] são os bits de dados, ou seja, 0 ou 1. Após, multiplicar B(x) por ώ٠(B(x) * ώ٠) e então fazer a divisão pelo polinômio gerador para o CRC16 G(x) = ώ٠ط ώ٠ط ώ٠ط ρe o polinômio resto R(x) = ٭ώ٠ط ٭ώ٠ط Ẽ ط ٭ serão os bits de CRC (BRONZATTI, 2013).

A seguir, é possível ver o exemplo de cálculo de CRC-5 na Figura 27. Este exemplo é conveniente pois o CRC-16 resultaria em um cálculo muito maior, porém o conceito é o mesmo.

Figura 27 - Exemplo de cálculo CRC



Fonte: Bronzatti (2013).

Para os *bits* B = [1 1 1 1 00101], tem-se o polinômio equivalente B(x) = ώ٤ط ώ٥ط ώ٤ط ώ٣ط ώ٠ط ρe considerado o gerador G(x) = ώ٣ط ώ١ط ώ٠ط ρ(BRONZATTI, 2013).

A bomba de infusão Asena utiliza os seguintes parâmetros de CRC, conforme Figura 28, que é baseado nos parâmetros de algoritmo do modelo Rocksoft.

Para que o microcontrolador possa gerar o CRC correto, será utilizado o algoritmo do modelo Rocksoft, conforme Figura 29.

Figura 28 - Parâmetros do modelo Rocksoft

4.3 CRC

Atributo	Valor
Nome	CRC-CCITT
Comprimento	16 bits
Polinômio	$x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$
Valor inicial	0xFFFF
Saída Refletida	FALSO
Entrada Refletida	FALSO
XOR na saída	0x0000
Check	Não

Fonte: Asena (2005).

Figura 29 - Algoritmo CRC

```
CRC_T CRC_CalcForBlock( const void * const Block, size_t BlockSize){
        CRC_T CRC_Returned;
        WordT CRC_Value;
        WordT CRC_Operand;
        WordT TableOperand;
        WordT MemoryOperand;
        ByteT const * Ptr;
        size_t i;

        static const unsigned int CRC_Table[256u] = {
                0x0000, 0x1021, 0x2042, 0x3063, 0x4084, 0x50a5,0x60c6, 0x70e7, 0x8108, 0x9129, 0xa14a, 0xb16b,
                0xc18c, 0xd1ad, 0xe1ce, 0xf1ef, 0x1231, 0x0210,0x3273, 0x2252, 0x52b5, 0x4294, 0x72f7, 0x62d6,
                0x9339, 0x8318, 0xb37b, 0xa35a, 0xd3bd, 0xc39c,0xf3ff, 0xe3de, 0x2462, 0x3443, 0x0420, 0x1401,
                0x64e6, 0x74c7, 0x44a4, 0x5485, 0xa56a, 0xb54b,0x8528, 0x9509, 0xe5ee, 0xf5cf, 0xc5ac, 0xd58d,
                0x3653, 0x2672, 0x1611, 0x0630, 0x76d7, 0x66f6,0x5695, 0x46b4, 0xb75b, 0xa77a, 0x9719, 0x8738,
                0xf7df, 0xe7fe, 0xd79d, 0xc7bc, 0x48c4, 0x58e5,0x6886, 0x78a7, 0x0840, 0x1861, 0x2802, 0x3823,
                0xc9cc, 0xd9ed, 0xe98e, 0xf9af, 0x8948, 0x9969,0xa90a, 0xb92b, 0x5af5, 0x4ad4, 0x7ab7, 0x6a96,
                0x1a71, 0x0a50, 0x3a33, 0x2a12, 0xdbfd, 0xcbdc,0xfbbf, 0xeb9e, 0x9b79, 0x8b58, 0xbb3b, 0xab1a,
                0x6ca6, 0x7c87, 0x4ce4, 0x5cc5, 0x2c22, 0x3c03,0x0c60, 0x1c41, 0xedae, 0xfd8f, 0xcdec, 0xddcd,
                0xad2a, 0xbd0b, 0x8d68, 0x9d49, 0x7e97, 0x6eb6,0x5ed5, 0x4ef4, 0x3e13, 0x2e32, 0x1e51, 0x0e70,
                0xff9f, 0xefbe, 0xdfdd, 0xcffc, 0xbf1b, 0xaf3a,0x9f59, 0x8f78, 0x9188, 0x81a9, 0xb1ca, 0xa1eb,
                0xd10c, 0xc12d, 0xf14e, 0xe16f, 0x1080, 0x00a1,0x30c2, 0x20e3, 0x5004, 0x4025, 0x7046, 0x6067,
                0x83b9, 0x9398, 0xa3fb, 0xb3da, 0xc33d, 0xd31c,0xe37f, 0xf35e, 0x02b1, 0x1290, 0x22f3, 0x32d2,
                0x4235, 0x5214, 0x6277, 0x7256, 0xb5ea, 0xa5cb,0x95a8, 0x8589, 0xf56e, 0xe54f, 0xd52c, 0xc50d,
                0x34e2, 0x24c3, 0x14a0, 0x0481, 0x7466, 0x6447,0x5424, 0x4405, 0xa7db, 0xb7fa, 0x8799, 0x97b8,
                0xe75f, 0xf77e, 0xc71d, 0xd73c, 0x26d3, 0x36f2,0x0691, 0x16b0, 0x6657, 0x7676, 0x4615, 0x5634,
                0xd94c, 0xc96d, 0xf90e, 0xe92f, 0x99c8, 0x89e9,0xb98a, 0xa9ab, 0x5844, 0x4865, 0x7806, 0x6827,
                0x18c0, 0x08e1, 0x3882, 0x28a3, 0xcb7d, 0xdb5c,0xeb3f, 0xfb1e, 0x8bf9, 0x9bd8, 0xabbb, 0xbb9a,
                0x4a75, 0x5a54, 0x6a37, 0x7a16, 0x0af1, 0x1ad0,0x2ab3, 0x3a92, 0xfd2e, 0xed0f, 0xdd6c, 0xcd4d,
                0xbdaa, 0xad8b, 0x9de8, 0x8dc9, 0x7c26, 0x6c07,0x5c64, 0x4c45, 0x3ca2, 0x2c83, 0x1ce0, 0x0cc1,
                0xef1f, 0xff3e, 0xcf5d, 0xdf7c, 0xaf9b, 0xbfba,0x8fd9, 0x9ff8, 0x6e17, 0x7e36, 0x4e55, 0x5e74,
                0x2e93, 0x3eb2, 0x0ed1, 0x1ef0
        };
        CRC_Value = CRC_SEED_VALUE;
        Ptr = Block;

        for (i = 0u; i < BlockSize; i++){
                MemoryOperand = (WordT) *Ptr++;
                TableOperand = CRC_Table[ ( (CRC_Value >> BYTE_SIZE) ^ MemoryOperand)];
                CRC_Operand = ((CRC_Value & WORD_LOW_BYTE) << BYTE_SIZE);
                CRC_Value = (TableOperand ^ CRC_Operand);
        }
        CRC_Returned.LowByte = (ByteT)(CRC_Value & WORD_LOW_BYTE);
        CRC_Returned.HighByte = (ByteT)((CRC_Value & WORD_HIGH_BYTE) >> BYTE_SIZE);

        return (CRC_Returned);
```

Fonte: Asena (2005).

3.3 PROGRAMAÇÃO DO MICROCONTROLADOR

Com o objetivo de emular a bomba de infusão, a fim de viabilizar o projeto, foi utilizado o microcontrolador PIC16F876A, da Microchip. Este microcontrolador foi escolhido devido sua simplicidade e boa capacidade de armazenamento, além de estar disponível na biblioteca de simulação e também por utilizar IDE e compiladores próprios e *freewares*. As características principais deste componente são vistas na Figura 30.

Figura 30 - Especificações do microcontrolador

Device	Program Memory		Data SRAM (Bytes)	EEPROM (Bytes)	I/O	10-bit A/D (ch)	CCP (PWM)	MSSP		USART	Timers 8/16-bit	Comparators
	Bytes	# Single Word Instructions						SPI	Master I^2C			
PIC16F876A	14.3K	8192	368	256	22	5	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2

Fonte: Microchip (2003).

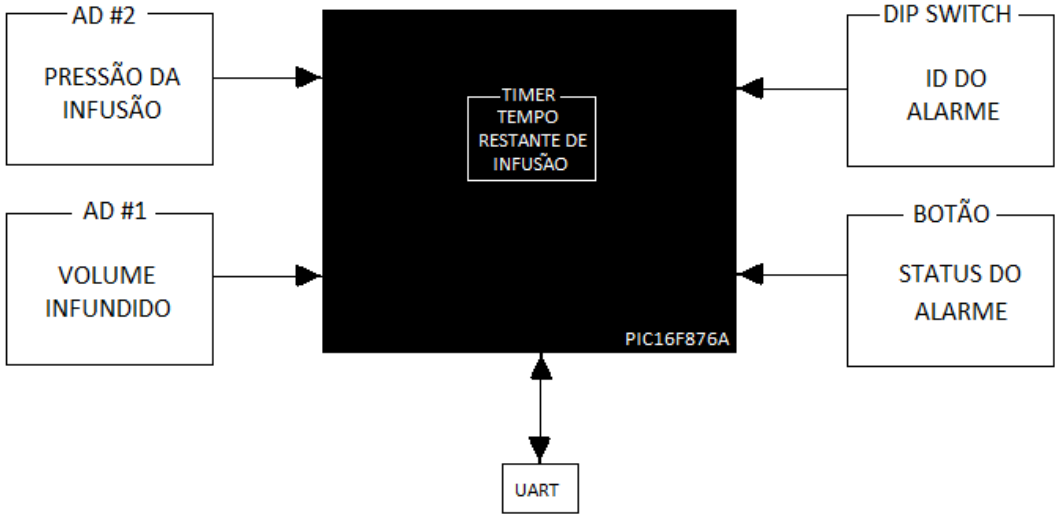
A fim de tornar a simulação mais fidedigna com a bomba de infusão, foram utilizados alguns periféricos do microcontrolador para que fossem simuladas algumas funções que a bomba de infusão irá executar e reportar ao sistema supervisório o respectivo *status.*

A Figura 31 mostra um breve resumo dos periféricos e suas representações práticas da bomba de infusão.

O circuito foi montado no simulador, que contempla todos os periféricos mencionados na Figura 32, que mostra o diagrama elétrico do microcontrolador.

Observando o esquemático do circuito é possível levantar algumas observações no que tange respeito à comunicação serial. O conector do terminal virtual está ligado diretamente nos pinos de TX e RX do microcontrolador. Apesar da simulação funcionar com este tipo de montagem de circuito, em uma montagem física é necessário inserir um circuito de conversão de níveis lógicos. Para esta aplicação, se faz necessária a inserção de um componente que converta o nível lógico TTL para RS232 ou RS485. Como não faz parte do universo da pesquisa os níveis de comunicação entre microcontrolador e sistema supervisório, este tema não será aprofundado. Os níveis de tensão de comunicação entre a bomba de infusão e o sistema supervisório é um assunto que será abordado posteriormente, em momento

Figura 31 - Microcontrolador e periféricos

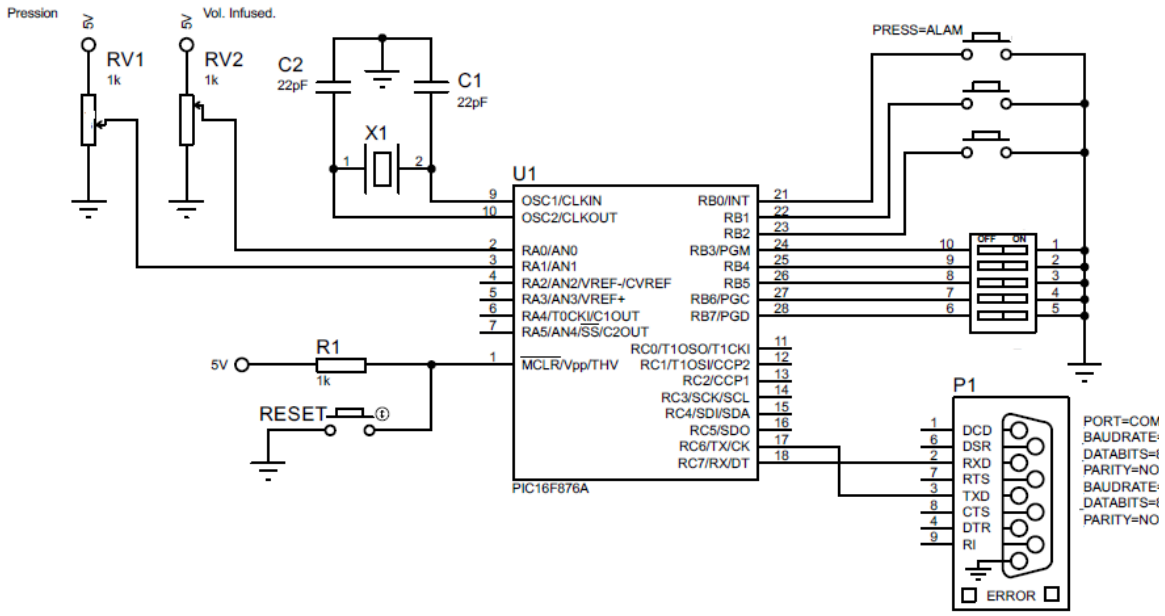


Fonte: Autor (2019)

oportuno.

O código da função *main* que está gravado no microcontrolador pode ser visto

Figura 32 - Diagrama elétrico do microcontrolador



Fonte: Autor (2019).

na Figura 33.

Figura 33 - Código da função *main* no microcontrolador

```
  struct dados_da_bomba{
                          char8 DrugName[8];
                          char8 VI_Value[8];
                          char8 VI_Units[4];
                          char8 VTBI_EndAction[4];
                          char8 InstSerialNo[8];

                          char8 Alarmcode[9];
                          char8 AlarmNotification;

                          char8 InfusionRateUnit[5];
                          char8 InfusionRateValue[5];
                          char8 InfusionTimeRemaining[10];
                          char8 InfusionMode[4];

                          char8 PressureInuts[6];
                          char8 PressureValue[4];
                          char8 LogType[4];
                          char8 LatestLogEntryId[4];
                        };

void main(void){
    TRISCbits.TRISC0 = 0;
    TRISB = 0xFF;
    OPTION_REGbits.nRBPU = 0;                       // habilita pullup do port b

    char8 RXmsg[19];
    uint16 adcValue = 0;

    startserial();
    ADC_Init();
    ResetMsg(&RXmsg[0], 19);

    Data bomba = {
        .InstSerialNo = "00000" ,
        .DrugName = "00000",
        .VTBI_EndAction = "0000",
        .InfusionRateValue = "00",
        .InfusionRateUnit = "ml/h",
        .InfusionMode = "000",
        .VI_Units = "00",
        .PressureInuts = "mmHg",
        .PressureValue = "00",
        .InfusionTimeRemaining = "00:00:00",
        .LogType = "000",
        .LatestLogEntryId = "000"
    };

while(1){

    serialRXstring(&RXmsg[0], 0x0D);            // Le mensagem de entrada serial
    le_seringa(&bomba);                         // Le POT. seringa e armazena na estrutura
    le_alarme(&bomba);                          // Le DIP ID alarme e armazena na estrutura
    le_Pressao(&bomba);                         // Le POT. de pressão e armazena na estrutura

    switch( LeMensagem(&RXmsg[0]) ){            // Identifica se mensagem recebida é requisição de INFOS ou de ALARMES
        case 1:                                 // responde INF
            RespondemensagemINF(&bomba, 1);     // Zera vetor RX
            ResetMsg(&RXmsg[0], 19);
            break;
        case 2:
            RespondemensagemINF(&bomba, 2);     // Responde ALARME
            ResetMsg(&RXmsg[0], 19);            // Zera vetor RX
            break;
        default:
            NOP();
    }


    PORTCbits.RC0 = !PORTCbits.RC0;
    }
```

Fonte: Autor (2019).

Algumas condições foram atribuídas aos comprimentos de matrizes no microcontrolador por motivos de memória RAM. Como o manual técnico que contém o protocolo de comunicação informa especificações máximas de comprimento de mensagens, mas em nenhum momento informa especificações mínimas, foram determinados alguns valores menores de comprimento de mensagens de resposta, como o tamanho da *string* contendo número de série do equipamento e o nome do medicamento, pois são itens que não irão interferir no resultado final do experimento virtual.

Para o cálculo do CRC, foi utilizada a biblioteca padrão com os parâmetros do

modelo Rocksoft mencionado anteriormente. A aplicação da função pode ser vista no trecho de código a seguir, onde toda a mensagem é passada para a função através de um ponteiro, que retorna os caracteres relativos ao campo de CRC. A Figura 34 mostra um trecho do código de CRC.

Figura 34 - Trecho do código de CRC

```
retorno = CRC_CalcForBlock(&mensagem, Add-1);

convert2char(retorno.HighByte,converted);
mensagem[Add] = converted[0];
Add++;
mensagem[Add] = converted[1];
Add++;
convert2char(retorno.LowByte,converted);
mensagem[Add] = converted[0];
Add++;
mensagem[Add] = converted[1];
Add++;
mensagem[Add] = (char)0x0D;

serialTXstring(&mensagem[0]);
```

Fonte: Autor (2019).

A mensagem correta é passada para a função, que devolve na posição correta do *frame* da mensagem a ser enviada para o sistema supervisório. Por fim, a função de transmissão serial recebe toda a mensagem e encaminha ela para os *buffers* de saída do microcontrolador.

3.4 PARAMETRIZAÇÃO DO INDUSOFT WEB STUDIO

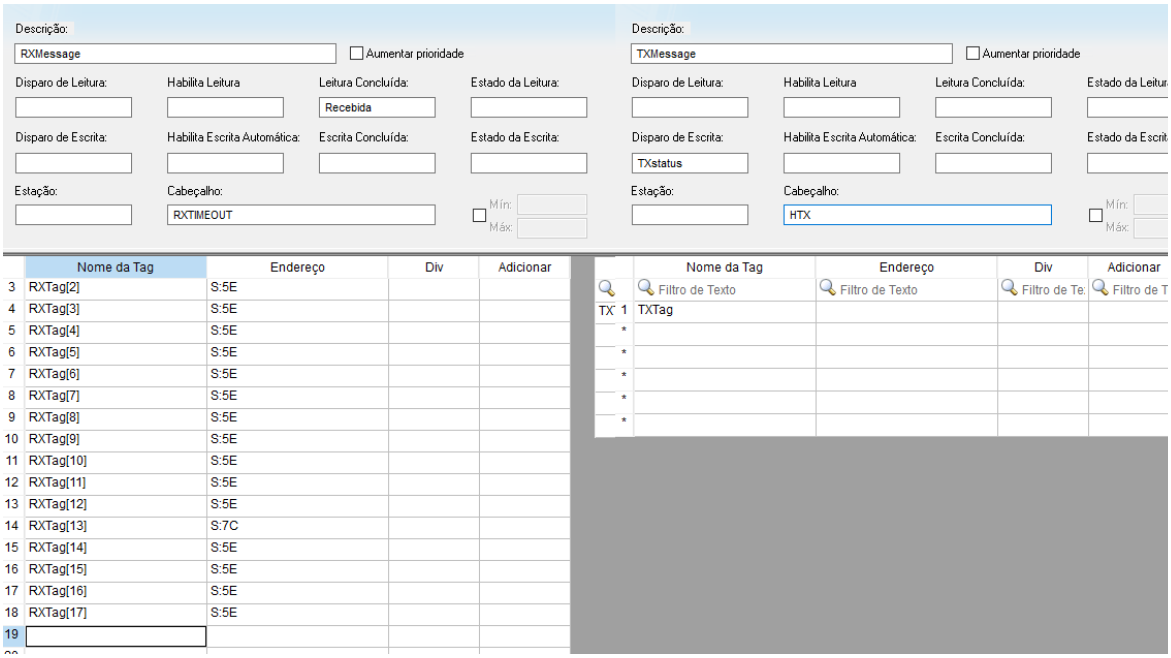
A ferramenta Indusoft Web Studio inclui mais de 240 *drivers* de comunicação integrados para a maioria dos CLPs, controladores de temperatura e movimento, leitores de código de barras / RFID e outros dispositivos. Para a aplicação que está determinada neste projeto será necessário o conhecimento de configurações básicas de *TAGs*, tratamento de dados, programação em VBScript e configuração da biblioteca de comunicação padrão TXRX.

3.4.1 *Driver* TXRX

O *driver* de comunicação TXRX é o responsável pela comunicação entre o

sistema supervisório e a bomba de infusão. As configurações das TAGs utilizadas na comunicação serial podem ser vistas na Figura 35.

Figura 35 - *TAGs* associadas a comunicação serial

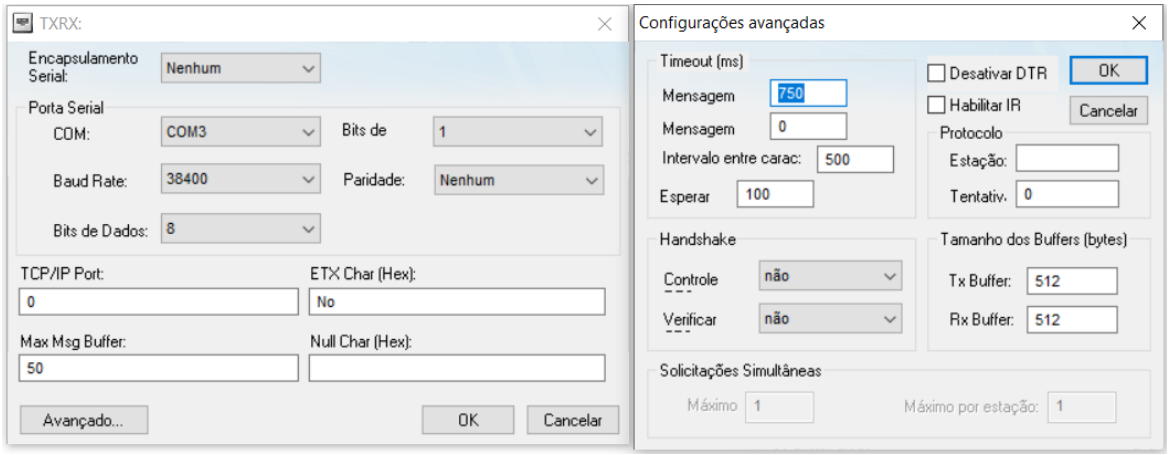


Fonte: Autor (2019)

Na configuração de recepção está sendo utilizada uma *TAG* nomeada como ñRecebidaò. Toda vez a recepção de pacotes de dados estiver em variável inverte seu estado lógico. RXTIMEOUT armazena mensagens recebidas em uma *TAG* especificada somente quando não há um caractere ETX na mensagem e o intervalo de transmissão estoura. Este dado pode ser configurado em ñParâmetros comunicação», no menu ñAvançadoò pode ser visto na Figura 36.

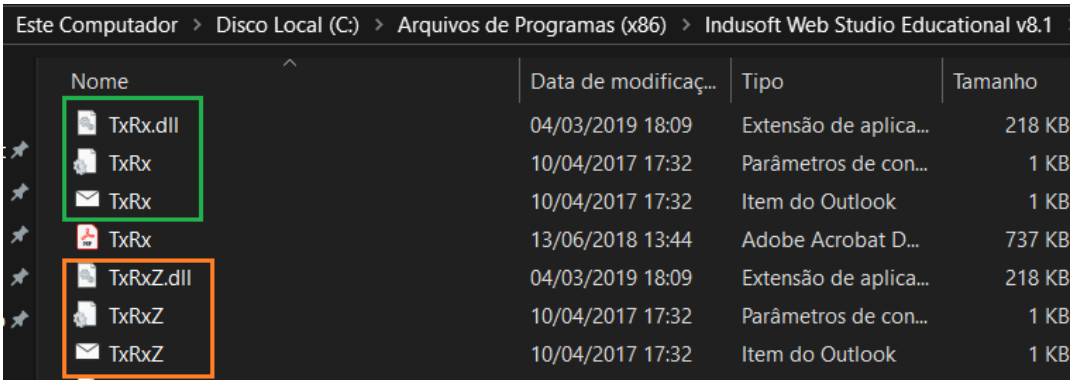
Através de uma manobra, é possível realizar a conexão de mais dispositivos seriais através de portas de comunicação diferentes. Copiando os arquivos do driver de comunicação TXRX no mesmo diretório e alterando o nome é possível configurar outras portas de comunicação. Desta forma, será possível testar mais de um dispositivo em nosso sistema supervisório. A seguir, o procedimento realizado para que fosse possível realizar a conexão de dois microcontroladores através de duas portas seriais diferentes ao sistema supervisório. A Figura 37 mostra o procedimento para acrescentar portas seriais.

Figura 36 - Configurações avançadas de recepção de dados



Fonte: Autor (2019).

Figura 37 - Procedimento para acrescentar portas seriais



Fonte: Autor (2019).

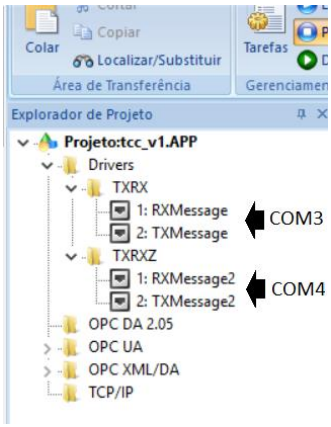
Os arquivos originais da biblioteca, destacados em verde, foram colocados no mesmo diretório e sofreram alteração no nome do arquivo. Deste modo, o código da comunicação pode ser carregado duas vezes no ambiente do IWS, possibilitando assim, a configuração de novas conexões seriais independentes, conforme mostrado na Figura 38.

Feito este processo, a etapa de aquisição de dados proveniente da bomba de infusão (microcontrolador) pode ser considerada finalizada.

3.4.2 *VBScript*

Tendo as diretrizes para o correto armazenamento dos dados de saída e

Figura 38 - Configuração de duas portas seriais diferentes



Fonte: Autor (2019).

entrada da comunicação serial do sistema supervisório, é chegado o momento de realizar o algoritmo que irá organizar a requisição e leitura das informações trocadas com os dispositivos seriais. A Figura 39 apresenta o algoritmo do processo representado na forma de um fluxograma. O algoritmo utiliza o conceito de máquina de estados para encontrar com maior facilidade alguma anormalidade na comunicação.

É possível notar que o algoritmo ainda implementa uma verificação para verificar se a resposta foi recebida da bomba de infusão e, caso não tenha ocorrido, é feito nova requisição ao cliente pelo mestre com o intuito de obter os dados.

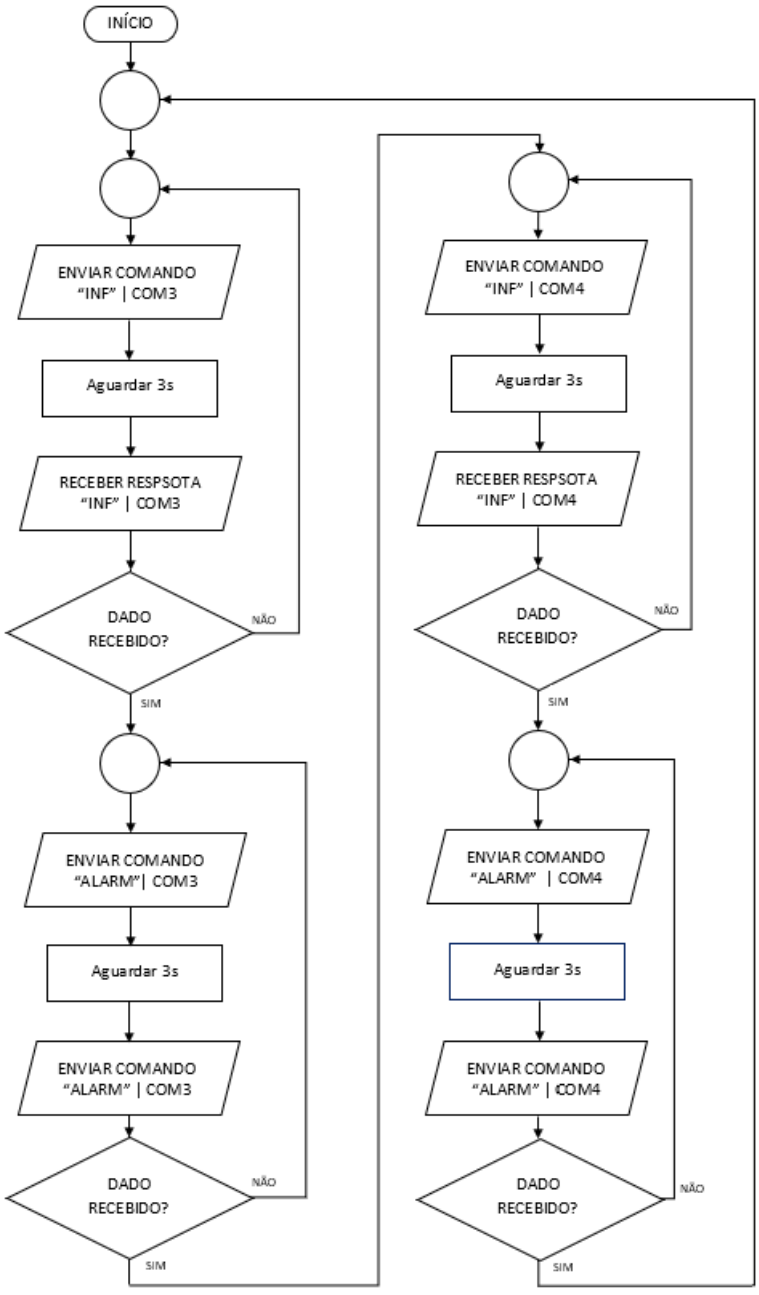
É de suma importância o aprofundamento na linguagem VBScript para que se possa rodar programas em *background*, como o que é possível ver na Figura 40, em que há um código trabalhando nos bastidores da aplicação principal de IHM.

A sua similaridade com o VBA e com linguagem C acaba facilitando na implementação das operações necessárias para realizar o procedimento de requisição e resposta, sempre observando as particularidades da linguagem e do programa Indusoft.

3.5 LIGAÇÃO ENTRE OS DISPOSITIVOS

Para a interligação entre simulador, contendo dois microcontroladores representando as bombas de infusão GH comunicando através de duas portas seriais e o sistema supervisório, será utilizado o *software Virtual Serial Port Simulator*. Ele

Figura 39 - Algoritmo para requisição e coleta de dados

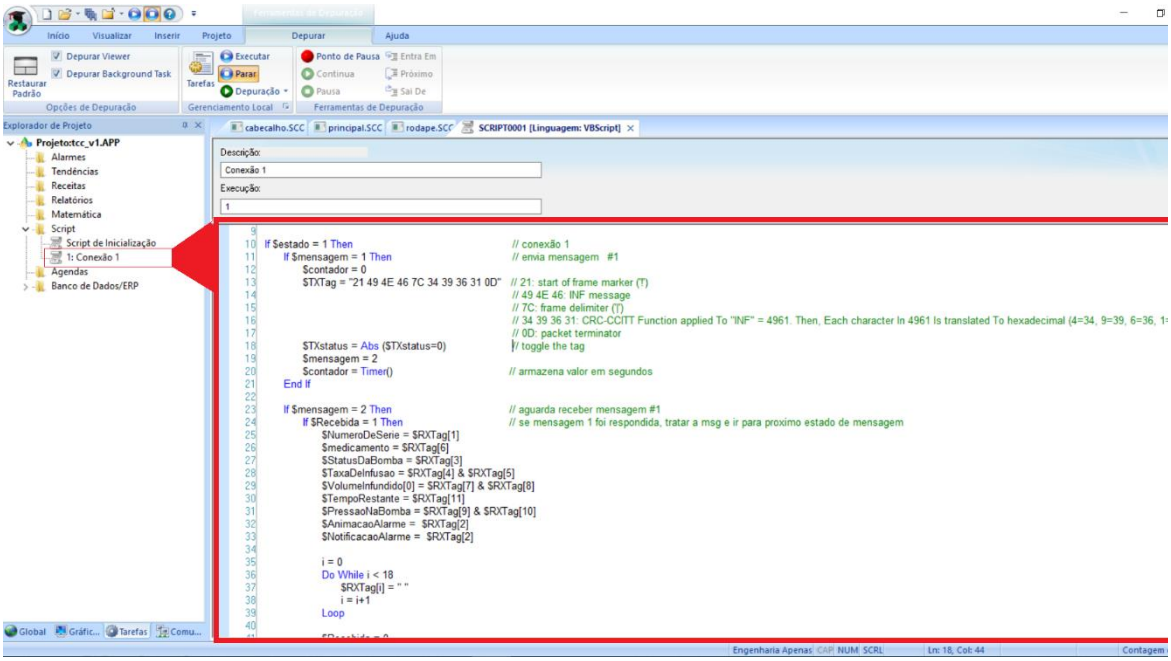


Fonte: Autor (2019).

conecta virtualmente as portas seriais internas do computador, sem a necessidade de utilizar qualquer hardware físico para fazer este tipo de teste. A configuração do VSPE é exibida na Figura 41.

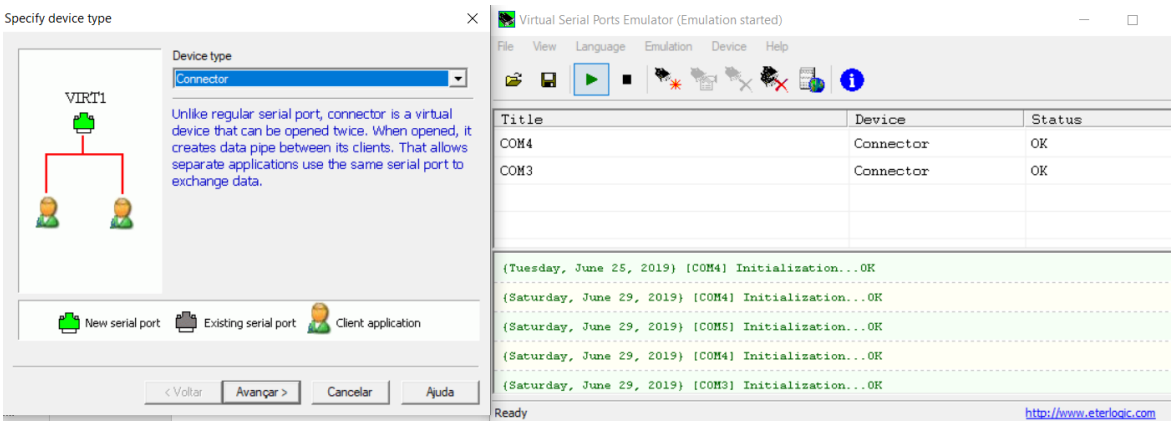
O software de simulação de circuitos permite a configuração das portas de

Figura 40 - VBScript que irá rodar em segundo plano



Fonte: Autor(2019).

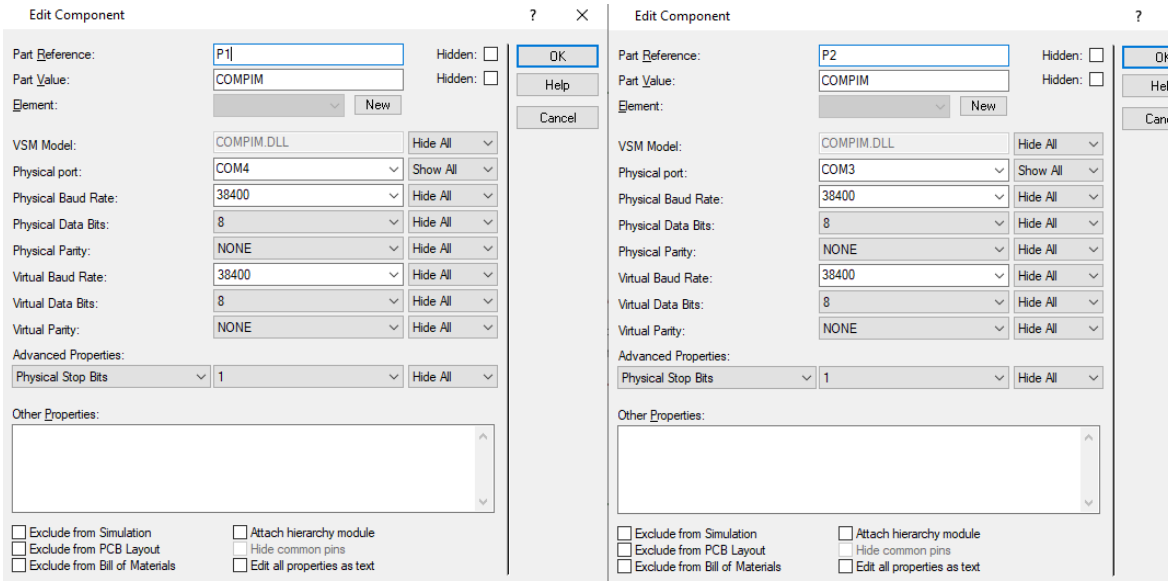
Figura 41 - Configuração do VSPE



Fonte: Autor (2019).

comunicação de seu terminal virtual, e ambos foram configurados nas portas COM 3 e 4, com a configuração de cada porta física e virtual com taxa de 38400bps, 8N1, conforme Figura 42.

Figura 42 - Configuração do terminal virtual do simulador

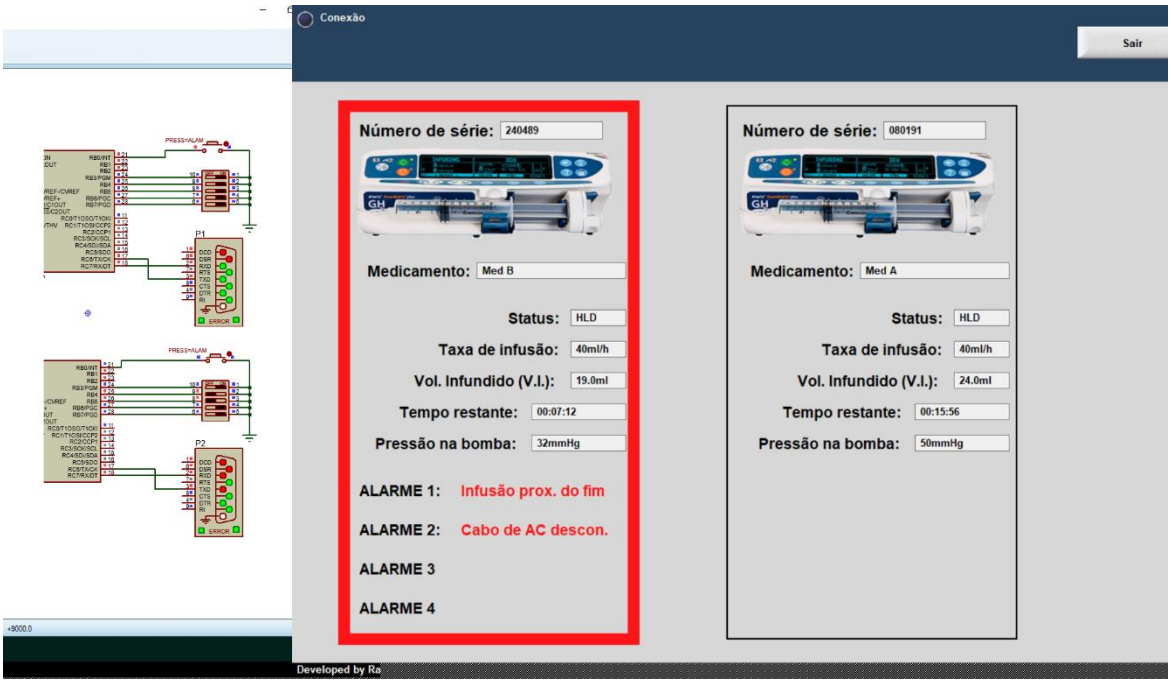


Fonte: Autor (2019).

4 RESULTADOS

Na Figura 43 é mostrada a captura de tela com o resultado final, após todos os softwares configurados, programados e verificados individualmente.

Figura 43 - Simulação em funcionamento



Fonte: Autor (2019).

Do ponto de vista funcional, o projeto funcionou perfeitamente. No canto esquerdo é possível perceber o simulador, com seus dois microcontroladores trocando dados através dos terminais virtuais. É possível notar que o *dip switch* e o botão do segundo microcontrolador estão acionados, o que caracteriza uma simulação de falha e, por consequência, um alarme. Na janela do supervisório, a bomba que está com alarmes e destaques é justamente a associada a troca de dados com o microcontrolador citado anteriormente. Por se tratar de um método idêntico na requisição, recebimento, avaliação e tratamento dos dados, todos os processos são considerados equivalentes, ou seja, de fácil ampliação no quesito quantidade de bombas de infusão.