

Aline de Cássia Magalhães

**Automação de um processo químico de
dosagem industrial supervisionado por Interface
Homem-Máquina**

UBERLÂNDIA

2017

Aline de Cássia Magalhães

**Automação de um processo químico de dosagem
industrial supervisionado por Interface Homem-Máquina**

Trabalho de Conclusão de Curso da Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Uberlândia - UFU - Câmpus Santa Mônica, como requisito para a obtenção do título de Graduação em Engenharia de Controle e Automação

Universidade Federal de Uberlândia – UFU

Faculdade de Engenharia Elétrica

Orientador: Prof. Dr. Márcio José da Cunha

UBERLÂNDIA

2017

Magalhães, Aline de Cássia

Automação de um processo químico de dosagem industrial supervisionado por Interface Homem-Máquina/ **Aline de Cássia Magalhães. – UBERLÂNDIA, 2017-** 62 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Márcio José da Cunha

Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Uberlândia – UFU
Faculdade de Engenharia Elétrica . **2017.**

Inclui bibliografia.

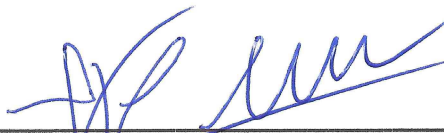
1. Sistema de Dosagem. 2. Modbus RTU. 2. Sistema de Supervisão. I. Márcio José da Cunha. II. Universidade Federal de Uberlândia. III. Faculdade de Engenharia Elétrica. IV. Engenharia de Controle e Automação.

Aline de Cássia Magalhães

**Automação de um processo químico de dosagem
industrial supervisionado por Interface Homem-Máquina**

Trabalho de Conclusão de Curso da Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Uberlândia - UFU - Câmpus Santa Mônica, como requisito para a obtenção do título de Graduação em Engenharia de Controle e Automação

Trabalho aprovado. UBERLÂNDIA, 12 de Dezembro de 2017:



Prof. Dr. Márcio José da Cunha
Orientador



Prof. Dr. Marcelo Barros de Almeida
Convidado 1



Prof. Me. Renato Santos Carrijo
Convidado 2

UBERLÂNDIA
2017

*A Deus que me deu coragem para enfrentar os desafios da vida.
Aos meus pais que me amaram desde o princípio e à minha avó Edmunda (in memoriam)
que sempre me amou e se alegrou com minhas conquistas.*

Agradecimentos

A Deus que me criou e me capacitou para atravessar todos os obstáculos que a vida me impôs, por sua infinita misericórdia e seu amor incondicional por mim, presto meu maior agradecimento.

À minha mãe que foi minha primeira professora na vida, que sempre soube me ensinar com todo o amor e carinho. Ao meu pai por sempre mostrar que eu poderia ir além. Por se dedicarem e sacrificarem suas vidas para que eu pudesse chegar até aqui e ser feliz.

Ao meu irmão que foi minha referência de vida desde meus primeiros passos. Ao Glauton que me incentivou a continuar sempre. Aos meus amigos e colegas da faculdade, da igreja e da vida que são minha segunda família e cujo apoio foi imprescindível ao longo desta caminhada.

Ao professor Márcio que soube me orientar muito bem, agradeço pela paciência e ajuda que tornaram possível a conclusão desta monografia. Agradeço ainda a todos os professores do curso de Engenharia de Controle e Automação que com seus ensinamentos e incentivo fundamentaram uma base teórica sólida e contribuíram para o meu crescimento pessoal. Enfim, agradeço a todos que com seu carinho e dedicação me tornaram uma pessoa melhor e foram decisivos nesta etapa da minha vida.

*“Por vezes sentimos que aquilo
que fazemos não é senão uma gota no oceano.
Mas sem ela o oceano seria menor.”,
(Madre Teresa de Calcutá)*

Resumo

O uso da automação industrial aumentou significativamente nas últimas décadas devido à alta demanda pelas empresas de produzir cada vez mais em menos tempo. O processo automatizado aumenta a produtividade, a qualidade do produto e até mesmo a segurança do operador, além de reduzir os custos por perda de material e assumir o controle e as tomadas de decisões do sistema.

A indústria química necessita de alta precisão e segurança no processo e por este motivo vem investindo largamente na automação de seus sistemas. Um dos processos utilizados neste tipo de indústria são os sistemas de dosagem industriais, que são basicamente um conjunto de instrumentos utilizados para manejar matéria prima de forma a gerar um produto.

Este trabalho trata do desenvolvimento de um sistema de dosagem industrial para uma planta química, que possua robustez e precisão. Por se tratar de um sistema autocontrolado, é necessário o uso de uma interface para que o usuário interaja com o mesmo. A leitura do peso é realizada utilizando a rede industrial Modbus RTU, a fim de garantir precisão na medida.

Palavras-chave: Sistema de Dosagem. Modbus RTU. RS-485. IHM. CLP.

Abstract

The use of industrial automation has increased significantly in the last decades due to the high demand by the companies to increasingly produce in less time. The automated process increases productivity, product quality, and even operator safety, as well as reducing costs for material loss and taking control and system decision-making.

The chemical industry needs high precision and safety on process and for this reason has been heavily investing on their systems automation. One of the processes used in this type of industry is industrial dosing systems, which are basically a set of instruments used to handle feedstock in order to generate a product.

This work deals with the development of an industrial dosing system for a chemical plant, which has robustness and precision. Because it is a self-controlled system, it is necessary to use an interface for the user to interact with it. The weight reading is performed using the Modbus RTU industrial network in order to guarantee accuracy in measurement.

Keywords: Dosing System. Modbus RTU. RS-485. IHM. PLC.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Sinais: (a)Discreto, (b)Digital e (c)Analógico	16
Figura 2 – Fluxograma do sistema de funcionamento de um CLP	17
Figura 3 – Telas de IHM que retratam a realidade do processo	17
Figura 4 – Válvula Pneumática com acionamento por Solenoide	19
Figura 5 – Representação das linguagens de programação	22
Figura 6 – Representação do fluxo de corrente	23
Figura 7 – Representação do Frame Modbus RTU	27
Figura 8 – Representação da planta industrial a ser automatizada	28
Figura 9 – Ambiente de trabalho DOPSoft®	30
Figura 10 – Configuração da COM1 no DOPSoft®	31
Figura 11 – Configuração da COM2 no DOPSoft®	32
Figura 12 – Projeto da Tela Principal	33
Figura 13 – Projeto da Tela de uma das Substâncias	34
Figura 14 – Projeto da Tela de Configurações	35
Figura 15 – Projeto da Tela do Sexto Reator	36
Figura 16 – Configuração da <i>Background Macro</i>	37
Figura 17 – Pinagem do CLP Delta® DVP14SS2	37
Figura 18 – Ambiente de trabalho ISPSOft®	38
Figura 19 – Lógica Ladder da animação inicial	39
Figura 20 – Lógica Ladder da animação do misturador	40
Figura 21 – Lógica do sentido de fluxo dos líquidos nos canos	41
Figura 22 – Lógica das cores dos líquidos nos canos	41
Figura 23 – Lógica de acionamento do misturador	42
Figura 24 – Lógica de velocidade do misturador	42
Figura 25 – Lógica ao pressionar o botão da dosagem	43
Figura 26 – Lógica de acionamento da bomba	43
Figura 27 – Lógica para registro de variáveis a serem manipuladas	44
Figura 28 – Lógica final da subrotina para a substância	45
Figura 29 – Lógica de alarme da válvula	45
Figura 30 – Lógica do sexto reator	46
Figura 31 – Célula de Carga	47
Figura 32 – Fluxograma das Interfaces e Funções Configuráveis Alfa®	48
Figura 33 – Indicador de peso Alfa® da linha 3100C	52
Figura 34 – Tentativa de acesso à tela com proteção por senha	54
Figura 35 – Representação da tela principal do sistema	55
Figura 36 – Representação da tela da substância	56

Figura 37 – Representação da tela dos parâmetros temporais	56
Figura 38 – Representação da tela do sexto reator	57

Lista de tabelas

Tabela 1	–	Comparativo entre os tipos de processos industriais	18
Tabela 2	–	Características da IHM escolhida	25
Tabela 3	–	Códigos de Funções	26
Tabela 4	–	Bombas e Válvulas presentes em cada reator	29
Tabela 5	–	Funções da Interface Serial	49
Tabela 6	–	Configuração do Padrão Elétrico	49
Tabela 7	–	Configuração do Protocolo de Comunicação	50
Tabela 8	–	Configuração do <i>Baud Rate</i>	50
Tabela 9	–	Leitura dos dados do Indicador	52

Lista de abreviaturas e siglas

ASCII	<i>American Standard Code for Information Interchange</i>
bps	<i>bits por segundo</i>
CLP	<i>Controlador Lógico Programável</i>
CRC	<i>Cyclical Redundancy Checking</i>
Hz	<i>Hertz - Unidade de medida de frequência</i>
IHM	<i>Interface Homem-Máquina</i>
kbps	<i>quilobit por segundo</i>
LD	<i>Ladder Diagram</i>
m	<i>Metros - Unidade de medida de distância</i>
RS-232	<i>Recommended Standard 232</i>
RS-485	<i>Recommended Standard 485</i>
RTU	<i>Remote Terminal Unit</i>
SCADA	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>

Sumário

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Justificativa	14
1.2	Objetivo	15
2	ESTADO DA ARTE	16
3	REFERENCIAL TEÓRICO	21
3.1	Controlador Lógico Programável	21
3.1.1	Lógica Ladder	23
3.2	Interface Homem-Máquina	23
3.3	Modbus RTU RS-485	25
4	METODOLOGIA	28
4.1	Implementação da IHM	30
4.2	Implementação do Sistema	37
4.3	Indicador de Pesagem	46
4.4	Comunicação Modbus RTU	51
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	54
6	CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS	58
	REFERÊNCIAS	59

1 Introdução

A integração de conhecimentos de maneira que os afazeres cotidianos sejam realizados autonomamente a fim de facilitar a execução destes é definida por Rosário (2009) como automação. Ele ainda elucida que a integração ocorre entre as áreas da computação, mecânica, eletrônica e sistemas de controle.

Devido à maior segurança e precisão garantidas no processo automatizado quando comparado com o processo manual, as indústrias químicas investiram bastante nesta área, principalmente nos sistemas de dosagem. Estes devem ser compactos, amigável operacionalmente, além de possuir elementos de instrumentação para realizar controle e guardar dados.

O processo do tipo batelada possui funções de transferência de substância cíclicas e gera resultados repetidos em doses limitadas. É um sistema que possui uma receita a ser seguida sob determinadas condições e utilizando substâncias específicas (RIBEIRO, 1999).

O controle de processos de dosagem em batelada é um assunto ainda pouco explorado, apesar da sua importância neste tipo de sistema. Porém alguns estudos já foram realizados no sentido de automação de processos com sistema de supervisão, estes serão detalhados no capítulo de Estado da Arte. Baseando nestes desenvolvimentos, nota-se que o trabalho aqui proposto difere dos já realizados quanto aos métodos e recursos utilizados e principalmente pelo modelo da planta.

Os sistemas que envolvem reações utilizam a automação para monitorar e controlar suas variáveis, garantir intertravamento e alarmes em caso de emergência, bem como tomadas de decisão que garantam a segurança caso ocorra falha no processo.

1.1 Justificativa

Não é mais uma novidade a importância da automação de processos industriais, o que se torna quase uma imposição aos donos de fábricas em investir nos avanços tecnológicos. Porém, existe uma barreira principalmente para os pequenos e médios empresários já que o investimento inicial é significativamente alto.

Os CLPs mais conhecidos e utilizados possuem um alto custo inicial, além de gastos adicionais com licença de software, o que eleva ainda mais o investimento na automação do processo. Existe no mercado os CLPs da Delta Automação®, os quais além de possuírem custo menor, dispõem de um software aberto eliminando o custo adicional em licença.

Desta forma, a motivação principal para a realização deste trabalho foi perceber a

dificuldade que algumas indústrias enfrentam para investir na automação devido ao alto custo dos equipamentos e buscar solucionar isto desenvolvendo um sistema de dosagem em batelada que atenda às necessidades do processo utilizando produtos de baixo custo para os donos de fábricas que procuram sistemas de custo inicial menor e com funcionamento eficiente, baseado na programação de dispositivos industriais e na utilização de rede industrial.

1.2 Objetivo

Propomos assim o desenvolvimento de uma planta química de dosagem em batelada utilizando comunicação Modbus para leitura do peso. Cada reator deverá possuir intertravamentos e alarmes para aumentar a segurança no processo. O sistema também atuará sobre a abertura e o fechamento das bombas e válvulas, permitirá ligar ou desligar os misturadores e alterar sua velocidade. O sistema deverá ser apresentado ao usuário de forma simples e amigável por meio de interface homem-máquina (IHM).

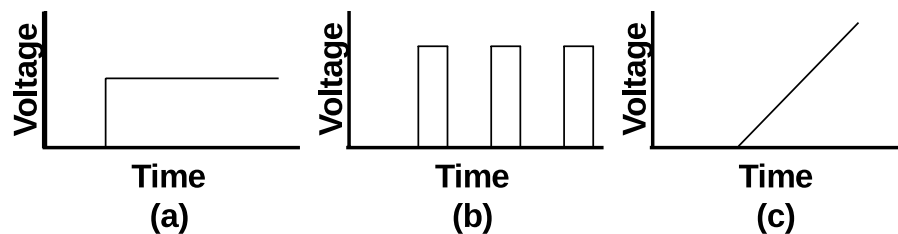
Tando o CLP quanto a IHM utilizados serão da empresa Delta Automação[®], já que seu custo é menor. A partir do desenvolvimento deste sistema, pode-se então analisar a eficácia dos dispositivos de baixo custo em realizar a automação de plantas industriais.

2 Estado da Arte

O setor industrial necessita aumentar sua produção diariamente sem ampliar os custos provenientes da contratação de novos funcionários. Por este motivo, a demanda por sistemas automatizados cresce para que a produção seja mais rápida e eficiente, como afirma Santos e Bizari (2013) em seu artigo onde documenta a importância do investimento em tecnologia tendo como base uma pesquisa sobre os benefícios da automação de um cozedor na usina sucroalcooleira.

A automação de processos industriais utiliza como controlador de seus sistemas o CLP, que é um computador dedicado a este modelo de aplicação, inicialmente com entradas e saídas puramente digitais, mas que atualmente possui tratamento de variáveis analógicas e multivariáveis. Esta afirmação é salientada por Ballock (2003), o qual implementou um supervisor com base em um CLP a fim de provar como a tecnologia deste é flexível e importante. Os gráficos dos sinais das variáveis manipuladas com o uso do CLP são ilustrados na figura 1 abaixo.

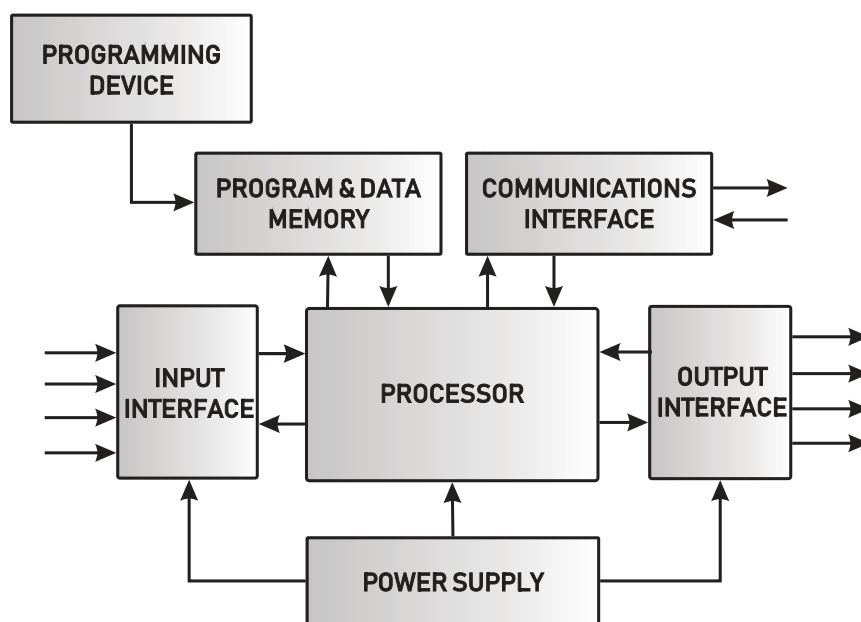
Figura 1 – Sinais: (a)Discreto, (b)Digital e (c)Analógico



Fonte: Adaptado de (BOLTON, 2015)

Um CLP possui pontos de entrada e saída responsáveis pelo controle do sistema, portas de comunicação permitindo que o CLP seja conectado a outros dispositivos e a CPU que é o processador onde se armazenam as informações da aplicação e é executada a programação, realizando as tomadas de decisão, como documentado por Silva, Soares e Rosa (2012) em sua aplicação de um método de programação de CLP para unidades geradoras hidrelétricas.

Figura 2 – Fluxograma do sistema de funcionamento de um CLP



Fonte: Adaptado de (BOLTON, 2015)

O CLP não possui uma forma física de acesso às variáveis do sistema implementado, sendo necessária a utilização de um sistema supervisor para que o operador possa interagir com o processo. Um sistema de supervisão muito utilizado atualmente são as interfaces homem-máquina, mais conhecidas pela sigla IHM. Segundo Pupo (2002) este uso se deve ao fato de estas concentrarem todo o controle da planta em suas telas, devendo possuir uma representação mais próxima possível da realidade, facilitando a operação por parte do usuário.

Figura 3 – Telas de IHM que retratam a realidade do processo



Fonte: Adaptado de Shape Solutions (Acesso em 2017)

Maia et al. (2013) realizou a programação do CLP em linguagem ladder e criou um sistema supervisor para um sistema automatizado de tratamento de água pelos métodos

de floculação e flotação. O processo da estação de tratamento de água (ETA) ocorre em batelada, que é basicamente quando a produção é realizada em lotes. Em seu artigo sobre os tipos de indústrias de processo, Borges e Dalcol (2002) caracteriza os sistemas do tipo batelada por sua alta complexidade, elevado número de etapas de produção, possibilidade de utilizar um mesmo equipamento para fabricar inúmeros produtos, dentre outras características listadas na tabela seguinte.

Tabela 1 – Comparativo entre os tipos de processos industriais

Processo Contínuo	Processo em Batelada
Alta velocidade de produção, pouco trabalho humano	Tempo de lead time grande, muito trabalho humano no processo
Clara determinação de capacidade, uma rotina para todos os produtos, baixa flexibilidade	Capacidade não facilmente determinada (diferentes configurações, rotinas complexas)
Baixa complexidade do produto	Produtos mais complexos
Baixo valor agregado	Alto valor agregado
Tempos de parada causam grande impacto	Tempos de parada causam menor impacto
Pequeno número de etapas de produção	Grande número de etapas de produção
Número limitado de produtos	Grande variedade de produtos

Fonte: Adaptado de (BORGES; DALCOL, 2002)

O projeto proposto por Gonçalves e Radtke (2011) visa automatizar um processo de produção de biodiesel, que é um processo em batelada. A automação deste engloba tanto o processo de reação quando de separação, bem como a criação de um sistema de supervisão para monitoramento e interação do usuário com o sistema. Seu projeto realiza o acionamento dos atuadores e aquisição de dados dos sensores através de comandos dados pelo CLP, o qual é desenvolvido em lógica ladder e dividido em sub-rotinas para melhor compreensão. O sistema de supervisão conta com botões virtuais de acionamento e dentre seus instrumentos são utilizados o misturador e válvula de acionamento por solenoide.

Uma válvula solenoide é composta pela bobina e pelo corpo, os quais atuam em conjunto a fim de garantir o controle e regular a passagem dos fluidos. A bobina possui um cilindro envolto por um fio condutor de energia. Produz-se uma força que passa pelo fio ativando o êmbolo da válvula, ocasionando um mecanismo de acionamento e desacionamento. O corpo realiza controle de fluxo, abrindo o sistema caso haja energia, ou fechando se a bobina não produzir energia. A energia perdida ou produzida na bobina impossibilita a haste de se movimentar ou gera um movimento nesta, respectivamente. As válvulas solenoides ou válvulas de controle elétrico tem sua abertura ou fechamento determinadas pela corrente elétrica ou pulsos elétricos, segundo Guirra e Silva (2010). Ainda de acordo com os autores, a maioria delas é acionada por uma tensão de 24 VAC, possuindo uma corrente de atração e uma de retenção.

Figura 4 – Válvula Pneumática com acionamento por Solenoide



Fonte: Adaptado de *CMControl* (Acesso em 2017)

Os misturadores industriais são bastante utilizados devido à sua robustez, eficiência e por garantir boa homogeneização. Estes possuem tamanha significância nas indústrias que Benthien (2014) realizou a implementação de um sistema dando foco ao misturador industrial. Além do acionamento e desacionamento deste, foram implementados o controle de sua velocidade, o controle de dosagem e vazão, o sistema de supervisão e aquisição de dados pelo CLP.

O uso de um sistema automatizado de dosagem diminui a quantidade de erros provenientes da dosagem manual, já que o processo controlado garante precisão e maior rapidez na dosagem. Existem diversas maneiras de se controlar a quantidade dosada, porém a mais utilizada nas indústrias faz uso de células de carga para realizar o controle de acordo com o peso. Conforme Cruz e Frajuca (2016), a célula de carga envia sinais elétricos ao controlador, o qual comanda o acionamento das válvulas em conformidade com o peso. Os autores tratam do desenvolvimento de um processo de dosagem das substâncias na fase líquida do verniz, utilizando o peso como base.

Existem outros tipos de controlar a quantidade dosada, porém não são tão precisos e vários fatores internos e externos podem causar erro na dosagem. Um destes métodos foi adotado por Jatobá et al. (2013), o qual realizou a automação de um protótipo de dosagem de líquidos comandado por tempo. Além da dosagem, integrou-se ainda o sistema de supervisão com o software LabView para integração com o operador e foram realizados os projetos elétrico e mecânico.

Quando se unem todas as características supramencionadas, obtém-se um sistema rápido, robusto, eficiente e menos suscetível a erros. Marques (2009) realizou um estudo sobre processos em batelada, a fim de conhecer os modos de operação e suas características.

A partir deste estudo, propôs um sistema SCADA para realização de receitas utilizando as substâncias disponíveis. Seu sistema é controlado pelo CLP programado em lógica ladder, a dosagem é realizada com o uso de células de carga, e o sistema possui um misturador industrial e válvulas solenoide.

As redes industriais são usadas para controlar e automatizar processos nas indústrias de diversos ramos de atividade. Isto ocorre pois sua utilização permite troca de dados em tempo real, aumenta a segurança e diminui o uso de cabeamentos, como documenta Salazar et al. (2006) em seu artigo onde implementa um sistema automatizado para um laboratório de medições de petróleo. Para a automação, controle e supervisão da planta implementada, os autores utilizaram tecnologias de redes industriais.

Papasideris et al. (2009) realizaram um controle de temperatura utilizando comunicação Modbus RTU com meio físico RS-485. Segundo os autores, este meio físico fornece canal serial multiponto, ligando a linha de recepção Rx e a de transmissão Tx entre o mestre e o escravo, podendo então haver comunicação entre eles.

3 Referencial teórico

Neste tópico serão embasadas algumas teorias principais cujo conhecimento são necessários para uma melhor compreensão do desenvolvimento realizado. A princípio será embasado o conceito de CLP e da lógica utilizada para a programação do sistema. Em seguida será fundamentada a noção de interface homem-máquina, sua função e características. Por fim, definir-se-á o tipo de rede utilizada, suas regras e particularidades.

3.1 Controlador Lógico Programável

Rosário (2009) define o CLP como um dispositivo eletrônico digital com a possibilidade de processar funções que utilizam lógica binária, executar comandos a fim de controlar e monitorar sistemas ou equipamentos.

As entradas e saídas do sistema são conectados aos instrumentos de campo fisicamente, interfaceando a CPU e o meio externo. Desta forma, estas entradas e saídas ligadas a ele são atualizadas (SILVEIRA; LIMA, 2003).

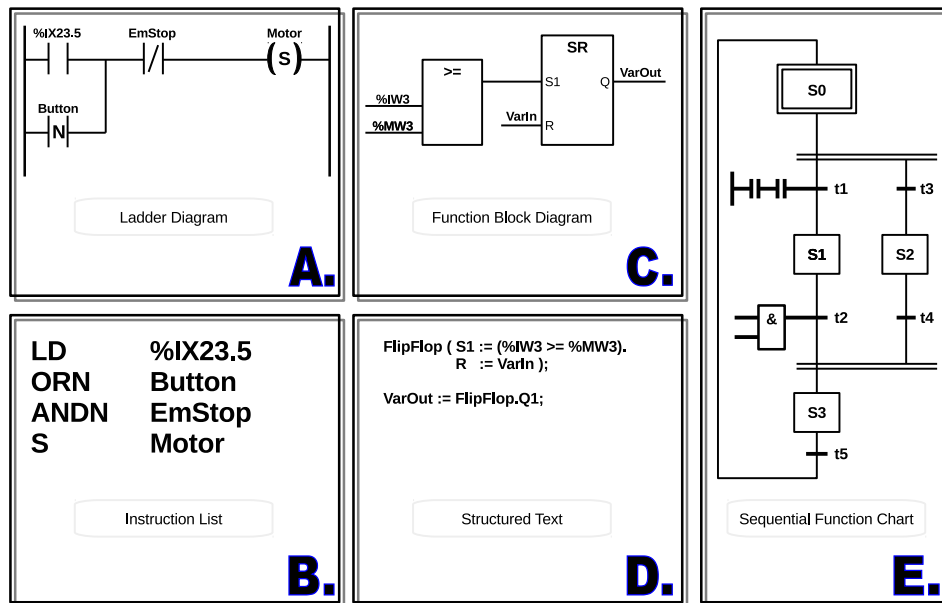
Uma das maiores vantagens do CLP é que pode-se alterar a lógica facilmente, bastando apenas reprogramar as instruções de sua memória. Por este motivo, a mudança de lógica se torna mais simples, de baixo custo, garantindo ainda rapidez já que não há necessidade de realizar mudanças físicas, como era preciso ao usar lógica de comando com relés (ROSÁRIO, 2009).

Ainda, de acordo com Barros (2006), o CLP é perfeitamente adaptável ao ambiente industrial, não interferindo em seu funcionamento as vibrações, variações de temperatura ou alimentação e nem ruídos elétricos. Além disto, o autor salienta a fácil programação, sendo que a flexibilidade do programa, bem como sua capacidade de se moldar ao sistema, garantem o funcionamento cíclico e, por consequência, atrai a indústria a utilizá-lo para automação de seus sistemas.

O CLP executa ciclicamente uma sequência de instruções, sendo as seguintes fases as mais importantes: a leitura das variáveis de entrada, a execução do programa de aplicação e a atualização das variáveis de saída (PUPO, 2002). Na primeira etapa, os sensores presentes no campo realizam a transformação de grandezas físicas em pulsos elétricos. Estes são enviados ao CLP e armazenados em sua memória até que haja alguma mudança na variável. Inicia-se então a segunda etapa, onde o CLP executa o programa, seguindo suas instruções. Por fim temos o último passo, onde ao finalizar um ciclo de varredura do programa, o CLP atua na saída e atualiza as variáveis, iniciando um novo ciclo.

Ainda segundo Barros (2006), são definidas pelo padrão IEC61131 cinco linguagens de programação para CLPs, sendo duas textuais e três gráficas. As textuais são denominadas lista de instruções (IL) e texto estruturado (ST), enquanto as gráficas são o diagrama de blocos funcionais (FBD), o mapa de função sequencial (SFC) e o diagrama ladder (LD), que foi utilizado para o desenvolvimento proposto.

Figura 5 – Representação das linguagens de programação



Fonte: Adaptada de SENAI (2011)

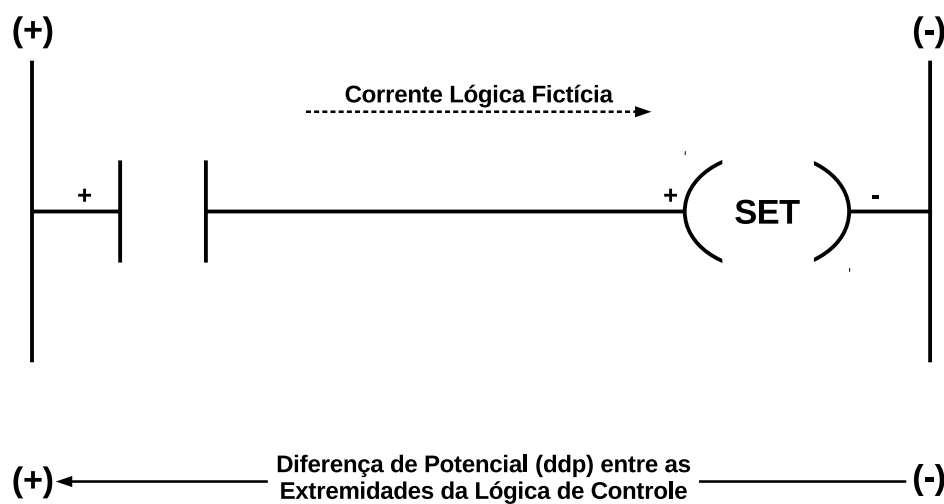
A programação Ladder, representada pelo item A da Figura 6 é basicamente uma lógica de contatos com base na antiga lógica de comandos por relés. O item B da figura em questão representa a linguagem *Instruction List* (IL), a qual é uma composição de várias instruções, sendo que cada instrução começa em uma nova linha e constitui-se de operador, modificador e operando. A lógica do item C é a chamada *Function Block Diagram* (FBD), a qual é formada de blocos que executam determinada função a partir das variáveis de entrada nele conectadas, gerando uma variável de saída.

O item D da Figura 6 retrata a linguagem *Structured Text* (ST), considerada de alto nível e que define um bloco de funções complexos. Esta pode ser usada concomitantemente com qualquer uma das demais linguagens. Por fim, o item E representa a *Sequential Function Chart* (SFC), que expõe graficamente de forma sequencial as etapas do sistema, promovendo maior detalhamento deste, possibilitando uma melhor compreensão do problema e garantindo funcionamento satisfatório. O SFC é formado por etapas conectadas à transições relacionadas a condições e blocos de ação.

3.1.1 Lógica Ladder

A programação ladder, assim como o acionamento de seus elementos, ocorre em sentido único, sendo este da esquerda para a direita. Pensando como um sistema real, a faixa à esquerda é o ponto com maior potencial e a faixa mais à direita é o de menor potencial, portanto a corrente irá fluir sempre do maior para o menor potencial. O diagrama ladder segue o mesmo princípio, portanto sua corrente lógica fictícia segue o mesmo sentido. A leitura da lógica é realizada do topo para baixo, sendo executada uma linha por vez (SILVESTRE, 2010).

Figura 6 – Representação do fluxo de corrente



Fonte: Adaptado de *Silvestre (2010)*

O LD é utilizado para realizar controle das saídas de acordo com as condições de entrada. Isto vai depender das instruções dos contatos (NA, NF, borda de subida, borda de descida) e das bobinas, endereçadas de acordo com os dispositivos executados ou controlados (PETRUZELLA, 2014).

Para que ocorra excitação da saída, o caminho lógico no sentido de fluxo deve ser verdadeiro. Quando isto acontece, denominamos continuidade lógica. Ainda de acordo com Petruzella (2014), durante o funcionamento do CLP, a lógica do degrau é executada e as saídas são energizadas ou desativadas em conformidade com a continuidade lógica dos degraus.

3.2 Interface Homem-Máquina

De acordo com Flateck (2017), a IHM - que possui uma CPU, o display e um tipo de teclado que pode ser comum, de membrana ou *Touch Screen* - tem grande importância na área industrial pois transforma a linguagem de baixo nível em imagens intuitivas para

o operador. A ISO 9241-110 define uma interface de usuário como “todas as partes de um sistema interativo (de software ou hardware) que fornecem informações e controle necessários para que o usuário realize uma determinada tarefa com o sistema interativo” (COPADATA, 2017).

Portanto, ao navegar pelo computador acessando suas pastas ou mesmo imprimindo um arquivo, ele funciona como uma IHM, já que não precisamos programá-lo com comandos para realizar nossas necessidades, mas apenas clicamos nos botões. Assim, sempre que existe uma tela onde navegamos por meio de ícones, janelas ou qualquer outra maneira simples de ser compreendida e de fácil execução, essa é então uma IHM (SABER ELÉTRICA, 2017).

A IHM promove assim uma fácil interação entre a máquina e um humano, mas não é capaz de realizar alterações no programa da máquina, já ela apenas recebe e atua nos endereços configurados e não na lógica do processo. Conforme cita Rocha (2015), assim que o CLP é programado com as funções desejadas no sistema, a IHM também necessita de seu programa próprio para estar conectada com as informações do controlador. Caso seja necessário mudar a lógica do processo, apenas o CLP precisa ser reprogramado.

A utilização desta interface nas indústrias é essencial e, por este motivo, a maioria das indústrias em diversos segmentos já optaram pelo uso da IHM. Estas possuem funções básicas ligadas à ideia de supervisão centralizada, segundo Urzêda (2010). O autor cita a visualização gráfica, que é a forma de demonstração dos dados do sistema, e é a base para as demais funções. Outras atribuições são a informação de alarmes caso ocorra algum distúrbio no processo que necessite ser solucionado pelo operador, e a restrição ao acesso da operação quando se faz necessário garantir segurança ao impedir por exemplo que o operador atue em dados que ele não tenha conhecimento para alterá-los.

Outra função mencionada por Urzêda (2010) é a verificação de *status* do processo, obtendo em tempo real as informações do sistema. Esta função é extremamente importante para a precisão, já que os dados atualizam enquanto o processo continua funcionando. Além das funções supracitadas, o autor defende que a IHM deve garantir ainda segurança e alto desempenho em monitoramento e controle do sistema.

A IHM Delta DOP-B07S515[®] possui custo relativamente baixo, tamanho adequado para programar uma interface gráfica de qualidade com tela colorida, suporta animações e comunicação Modbus RTU, possuindo portas de comunicação RS232 e RS485. A tabela 2 mostra algumas informações específicas deste modelo de interface.

Tabela 2 – Características da IHM escolhida

Características DOP-B07S515®	
Tamanho	7"
Resolução	800x600
Flash ROM	128 MB
SDRAM	64 MB
SD Card	Sim
USB Client	v2.0
Rasgo Painel	172.4 x 132.4 mm

Fonte: Adaptado de *Kalatec Automação (Acesso em 2017b)*®

3.3 Modbus RTU RS-485

O Modbus foi um dos protocolos pioneiros nas indústrias. Sua utilização cresceu e ele se tornou domínio público, sendo um protocolo aberto. Este utiliza controle de acesso mestre-escravo. Isto significa que o mestre solicita dados dos escravos ou envia comandos de escrita para os atuadores, e o escravo apenas realiza as solicitações. O protocolo Modbus não possui meio físico específico para comunicação, porém os mais utilizados são RS-232, RS-485 ou Ethernet (TERGOLINA, 2015).

O RS-232 restringe-se à comunicação ponto-a-ponto, ou seja, na rede pode existir apenas o mestre e um escravo. Este meio pode realizar comunicação com uma velocidade de até 115 kbps com cabos de no máximo 15 metros (FCODER GROUP INTERNATIONAL, 2002).

Já o padrão RS-485 permitem transmitir informações em aplicações com alta robustez em locais ruidosos e a longas distâncias. Este meio permite que o mestre possua até 32 escravos. Sua ligação é um par trançado, operando em *half-duplex*. Este padrão necessita a utilização de resistores de terminação utilizados para atenuar distorções na informação transmitida, garantindo maiores velocidades de comunicação e em maiores distâncias. A topologia indicada para a rede com RS-485 é a “*multi-drop*”, o limite de distância é 1200 m, dependendo deste comprimento a velocidade de comunicação, também chamada de *baud rate* (MEDIDORES, Acesso em 2017).

O protocolo Modbus conta com 256 endereços para os escravos, sendo 0(zero) o *broadcast* - usado pelo mestre para comunicar com todos os dispositivos da rede -, os endereços válidos de 1 ao 247 e a partir de 248 são os endereços reservados, conforme Modicon (1996). Existe um número para cada tipo de dado, denominado código da função. A tabela 3 lista 24 dos códigos de funções do protocolo Modbus.

Tabela 3 – Códigos de Funções

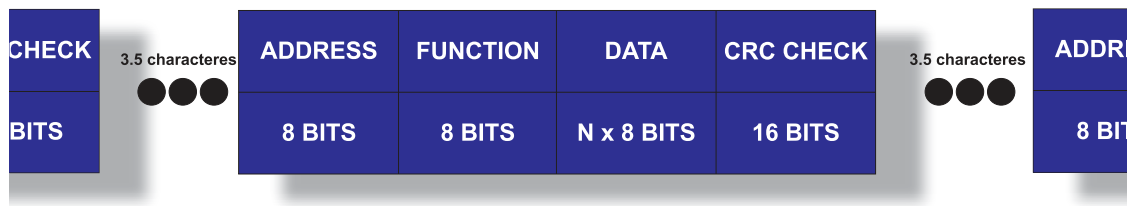
CODE	FUNCTION
01	Read Coil Status
02	Read Input Status
03	Read Holding Registers
04	Read Input Registers
05	Force Single Coil
06	Preset Single Register
07	Read Exception Status
08	Diagnostics
09	Program 484
10	Poll 484
11	Fetch Comm Event Counter
12	Fetch Comm Event Log
13	Program Controller
14	Poll Controller
15	Force Multiple Coils
16	Preset Multiple Registers
17	Report Slave ID
18	Program 884/M84
19	Reset Comm. Link
20	Read General Reference
21	Write General Reference
22	Mask Write 4x Registers
23	Read/Write 4x Registers
24	Read FIFO Queue

Fonte: Adaptado de *Iman (2014)*

De acordo com Paiotti (Acesso em 2017), existem três modos de transmissão possíveis: ASCII, TCP ou RTU. Daremos foco apenas ao último modo, por ser o que possui relevância para o presente trabalho.

Cada byte de mensagem no RTU possui dois caracteres hexadecimais de 4 bits, melhorando o processamento de dados para uma velocidade semelhante em ASCII. O frame transmitido usando o modo RTU é representado pela figura 7, onde notamos que não existem caracteres de início ou fim de frame, sendo o tempo silencioso de 3.5 caracteres o indicador de nova transmissão (FREITAS, 2014).

Figura 7 – Representação do Frame Modbus RTU



Fonte: Adaptado de *National Instruments (2014)*

No frame de comunicação do indicador, haverá sempre 11 bits no campo de informações, não variando o tamanho de acordo com os parâmetros da comunicação. A seguir podemos ver a quantidade de bits em cada parte da comunicação para as três configurações possíveis, conforme Alfa Instrumentos (2000).

- 1 START bit, 8 DATA bits, SEM paridade (sem bit de paridade), 2 STOP bits
- 1 START bit, 8 DATA bits, paridade PAR (1 bit de paridade), 1 STOP bit
- 1 START bit, 8 DATA bits, paridade IMPAR (1 bit de paridade), 1 STOP bit

A checagem de erros baseia-se no cálculo do CRC-16. Seu resultado é gravado nos últimos 16 bits da mensagem.(SOUZA, 2009)

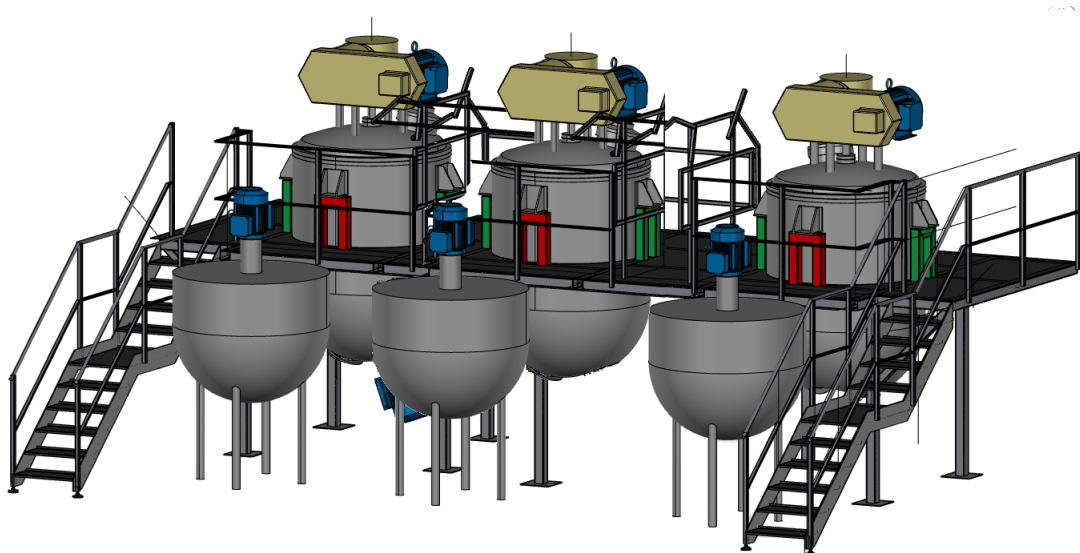
4 Metodologia

Sistemas de dosagem contam com alguns elementos, os quais iremos comentar antes de tratar da metodologia, a fim de conceder embasamento para melhor compreensão do sistema. Os tanques de matéria-prima são aqueles que armazenam as substâncias que serão usadas na criação do produto. Existem ainda os tanques de mistura, também chamados reatores, os quais recebem as substâncias e realizam a mistura delas de acordo com o que for especificado. Nos tanques de mistura acontece o processo de produção, por este motivo eles serão os tanques automatizados (SILVEIRA, 2017).

Para que a substância seja transferida do tanque de matéria-prima para o tanque de mistura, aciona-se a bomba para que o ingrediente seja bombeado através de sua tubulação, passando pela válvula solenoide, a qual deve estar acionada quando a bomba for ligada para evitar que a tubulação estoure. Assim que a substância atingir a quantidade necessária para ser misturada, o misturador ou agitador é acionado iniciando o processo de mistura.

O sistema desenvolvido trata-se de uma planta industrial dotada de seis reatores, dentre os quais cinco são para dosagem e um apenas para mistura, como ilustra a figura 8.

Figura 8 – Representação da planta industrial a ser automatizada



Fonte: Adaptada de *GrabCad* (Acesso em 2017)

As substâncias escolhidas para se trabalhar foram o ácido clorídrico, o ácido sulfônico, a água, o hipoclorito e a soda. Para todo o sistema foram utilizadas cinco bombas, sendo duas magnéticas para o ácido clorídrico e o hipoclorito, uma de engrenagem

para a soda, uma centrífuga para a água e uma helicoidal para o ácido sulfônico, conforme as propriedades da substância a ser bombeada ou das condições físicas do ambiente. Todos os reatores possuem um misturador com velocidade controlável pela tela da IHM, e cinco deles dispõem de células de cargas para medição do peso dosado.

A escolha da bomba magnética para o ácido clorídrico e o hipoclorito se deu devido ao fato desta ser utilizada quando não pode haver vazamentos para a segurança do sistema e do operador. O ácido sulfônico utiliza a bomba helicoidal pois além de não permitir vazamentos, esta é usada para bombear fluidos viscosos. A bomba centrífuga utilizada é própria para bombeamento de água. Por fim, o uso da bomba de engrenagem para a soda ocorreu pelo fato desta realizar bombeamento por sucção, o que é ótimo para locais de difícil escoamento.

O primeiro reator é utilizado para dosar três tipos de matéria prima, portanto existem três válvulas solenoides pneumáticas, assim como o quinto reator. Já o terceiro e o quarto apresentam quatro válvulas, já que são dosadas quatro substâncias. Por fim, o segundo reator é o que utiliza todos os elementos na dosagem, possuindo cinco válvulas solenoides pneumáticas. O sexto reator é utilizado apenas para mistura de produtos dosados, contendo exclusivamente o misturador e um turbo (um tipo de agitador colocado na parte inferior do tanque). A tabela 4 mostra as substâncias manipuladas para cada reator.

Tabela 4 – Bombas e Válvulas presentes em cada reator

	Ácido Clorídrico	Ácido Sulfônico	Água	Hipoclorito	Soda
Reator 1	X	X	X		
Reator 2	X	X	X	X	X
Reator 3		X	X	X	X
Reator 4		X	X	X	X
Reator 5	X	X	X		

Para todo o sistema há cinco interfaces, uma para cada reator de dosagem. A IHM apresenta na tela principal o peso do reator, o status das bombas e válvulas, um campo para inserção da velocidade do misturador, um botão para ligar e desligar o misturador e uma representação do status deste, além dos botões que direcionam às telas de cada substância.

Nas telas de cada um dos elementos são representados os status da bomba e da válvula. O usuário pode inserir a quantidade a ser dosada da matéria prima e o sistema mostra em tempo real a quantidade já dosada e o peso da balança. O sexto reator foi acoplado à IHM do primeiro, e contém apenas os botões para ligar e desligar o misturador e o turbo, bem como seus status.

Todos os cinco reatores de dosagem possuem um indicador Alfa[®] da linha 3100C, o qual apresenta o peso lido na balança. Eles se comunicam com o CLP através de um tipo de rede industrial para transmitir a leitura das células de carga. O protocolo de rede utilizado é Modbus RTU, através do padrão RS-485. Foi empregada leitura serial por sua rapidez e precisão, e a rede Modbus por sua simplicidade e por atender bem à aplicação.

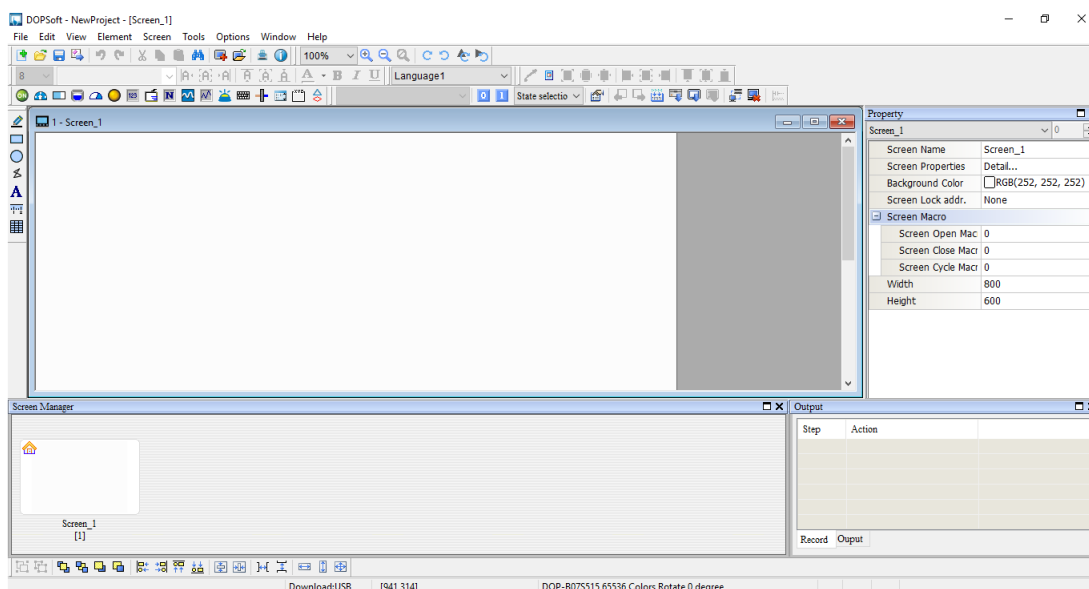
A realização deste trabalho foi composta por três etapas: implementar a interface homem máquina (IHM), programar o sistema para atuação e realizar a comunicação Modbus entre a IHM e o indicador Alfa[®], bem como a transferência do valor do peso para o CLP Delta[®] DVP-14SS2. Elas serão explicitadas nos tópicos subsequentes.

4.1 Implementação da IHM

Segundo Mintchel (2001), os sistemas de supervisão IHM compreendem a interface com o operador, sistemas supervisórios de controle e aquisição de dados (SCADA), alarmes para segurança do processo e outras funções diversas.

Esta é uma etapa bastante importante, pois a interface deve ser simples e intuitiva para que o operador consiga utilizar bem o sistema. Foi utilizada a IHM Delta[®] Touchscreen modelo DOP-B07S515, programável pelo software próprio open source DOPSoft[®], ilustrado na figura 9. Para a comunicação, utilizamos a IHM como o mestre da rede em questão.

Figura 9 – Ambiente de trabalho DOPSoft[®]



A comunicação com o Controlador Lógico Programável (CLP) acontece pela porta COM1 da IHM via Modbus utilizando o meio físico RS-232 configurado para *baud rate* de 9600 bps, *data length* de 7 bits, 1 *stop bit* e com paridade *Even*. Já a comunicação

com a balança Alfa[®] foi realizada utilizando uma rede Modbus em meio físico RS-485 pela porta COM2 da IHM. As figuras 10 e 11, mostram as configurações de cada porta de comunicação no software.

Figura 10 – Configuração da COM1 no DOPSoft[®]

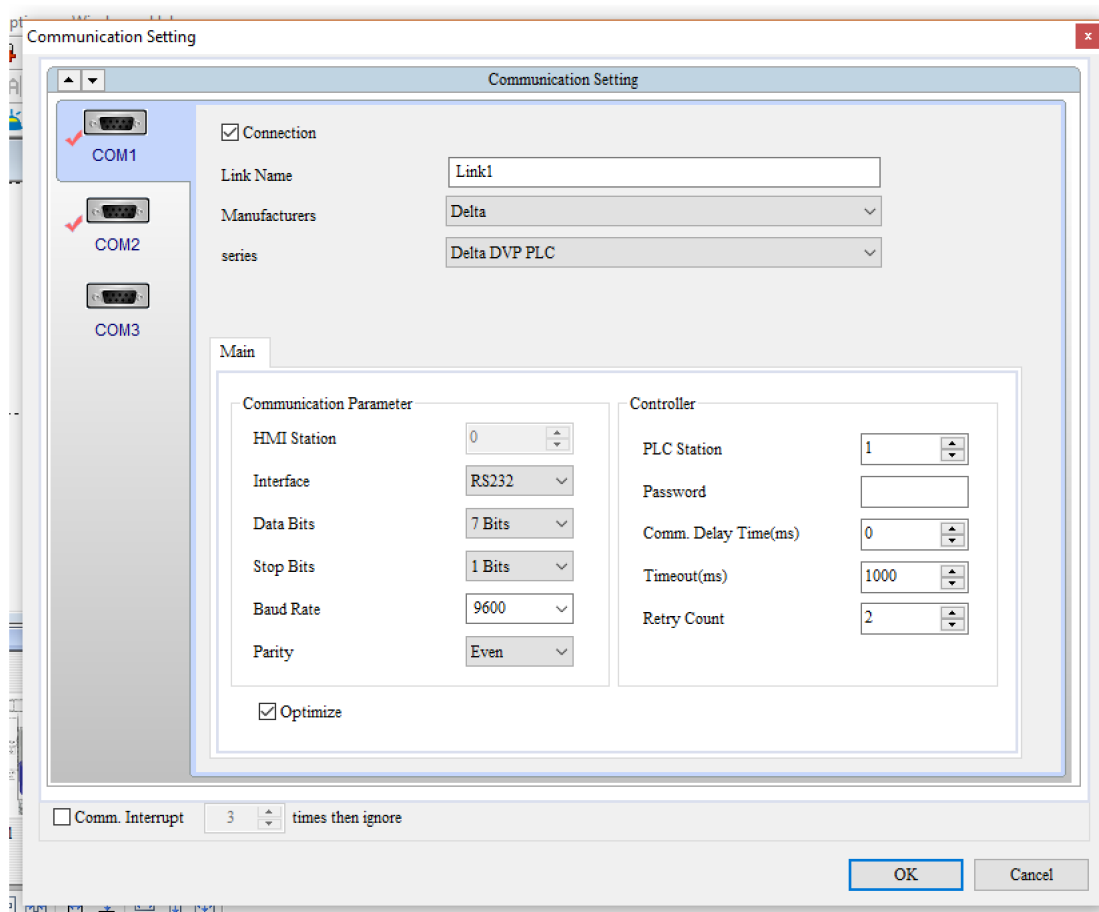
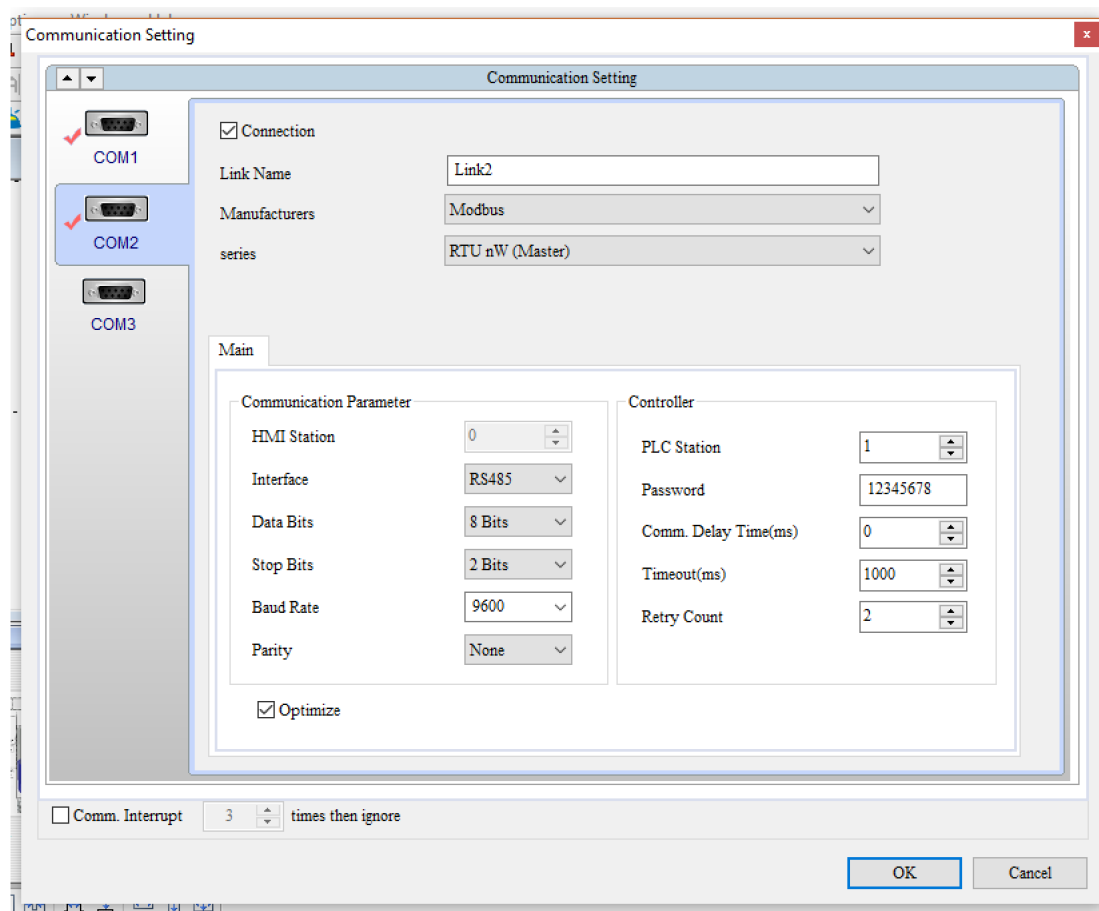
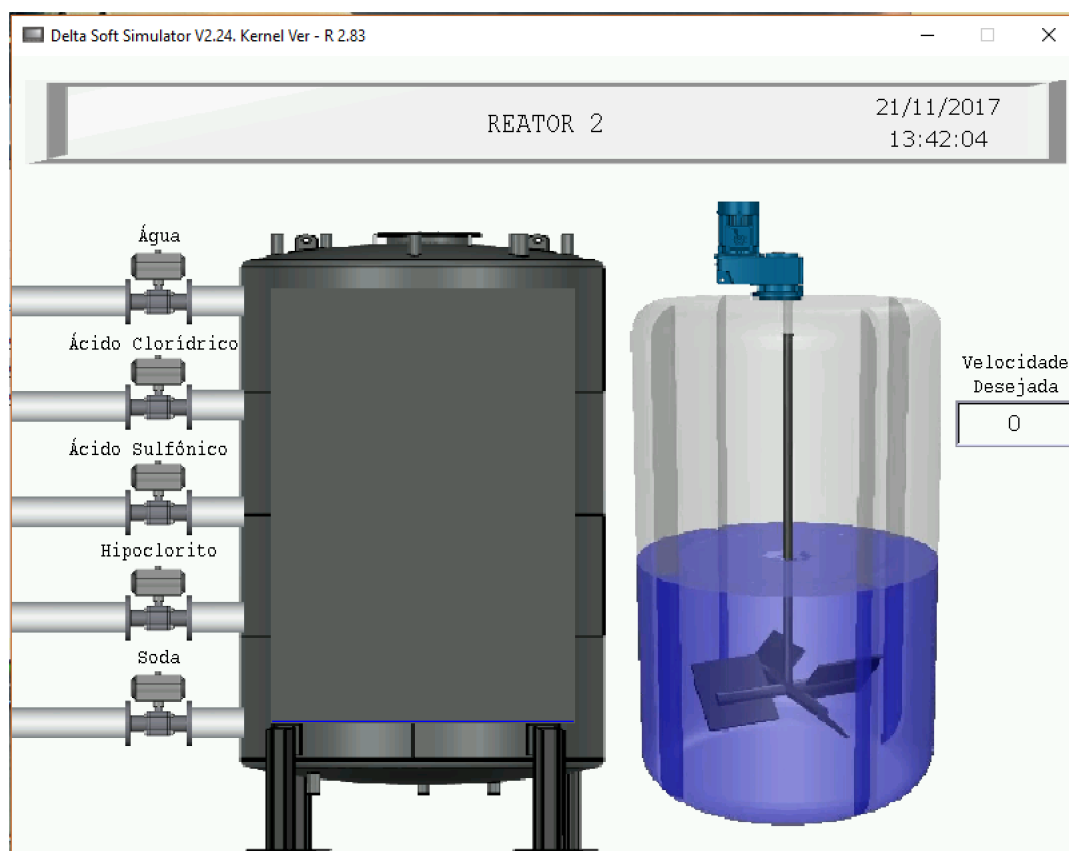


Figura 11 – Configuração da COM2 no DOPSoft®



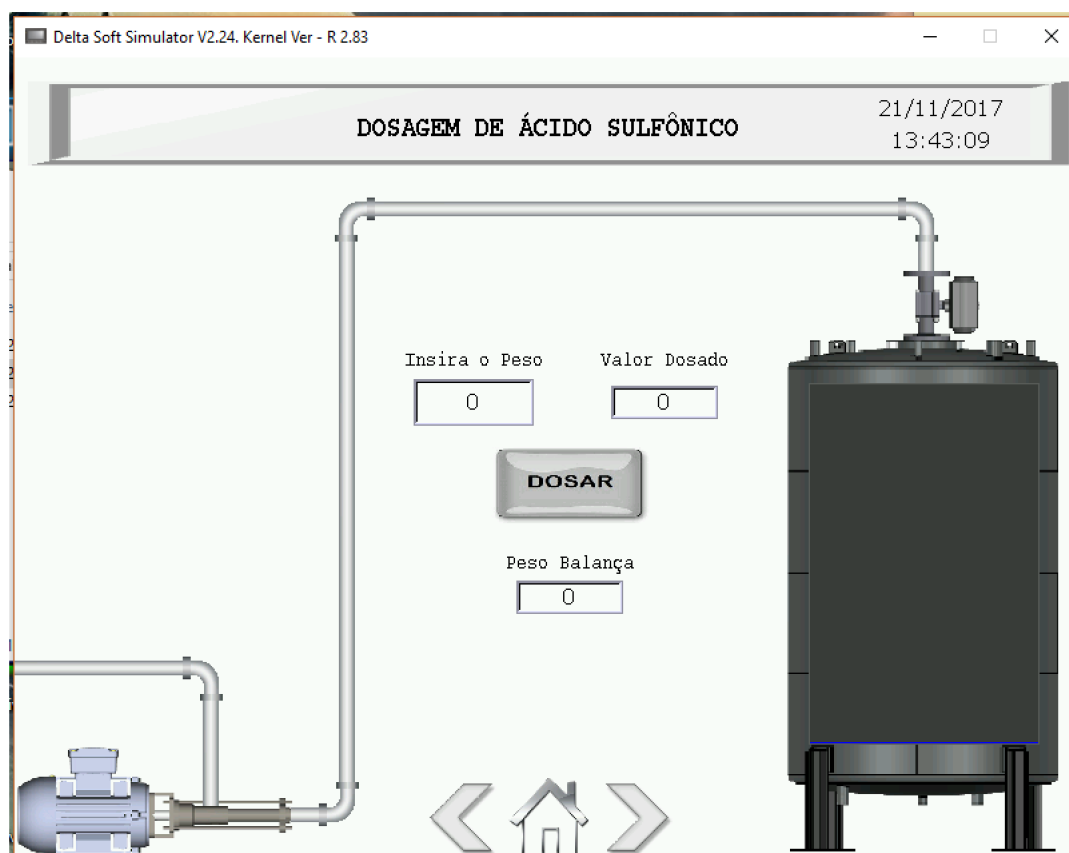
Foram criadas então a tela inicial, que possui uma animação de inicialização e um botão em toda a tela que se for pressionado, direciona o operador à tela principal. Na tela principal, conforme a figura 12, foi colocada uma representação do tanque com informação gráfica da quantidade de líquido presente neste, bem como a representação pelos canos do status da bomba. Se houver animação de líquido passando pelos canos, a bomba está em funcionamento, caso contrário, está desligada. Foram criados dois campos numéricos, um para visualização do peso atual do líquido presente no reator e o outro para inserção da velocidade de rotação desejada para o misturador, sendo a frequência desta limitada ao máximo de 60Hz. Por fim foi criada a animação do misturador, a qual possui uma sequência de imagens que dão sensação de movimento ao líquido sendo misturado.

Figura 12 – Projeto da Tela Principal



As representações das válvulas possuem um botão que, quando pressionadas, redireciona o operador à tela da substância referente à válvula apertada. Na tela da substância, ilustrada pela figura 13, foi colocada novamente a representação gráfica da quantidade de líquido presente no tanque. Acima do tanque foi colocada a representação da válvula com seu status, sendo que se esta for cinza se encontra desligada, e se for verde está aberta. Conectados à válvula estão os canos, que seguem a mesma ideia dos da tela principal, sendo animados caso a bomba da substância esteja em funcionamento. Foi colocada uma representação do tipo de bomba para facilitar ao operador de manutenção em caso de falha. Existem ao centro da IHM três campos numéricos e um botão. Os numéricos são um para inserção do peso a ser dosado da substância, outro para acompanhar a quantidade já dosada e o último para visualização do peso total de líquido presente no tanque. O botão é responsável por iniciar ou encerrar o processo de dosagem. Foram inseridos ainda botões na parte inferior da tela para alternar entre as telas de substâncias e retornar à tela principal. Todas as telas de substâncias seguem o mesmo escopo.

Figura 13 – Projeto da Tela de uma das Substâncias



A tela de configurações é protegida por senha e contém os ajustes dos temporizadores de acionamento das bombas quando o processo de dosagem se inicia e dos temporizadores de desacionamento das válvulas no fim do processo, conforme ilustra a figura 14.

Figura 14 – Projeto da Tela de Configurações

TEMPOS PARA ACIONAMENTO		TEMPOS PARA DESACIONAMENTO	
BOMBA ÁGUA	0	VÁLVULA ÁGUA	0
BOMBA ÁC. CLORÍDRICO	0	VÁLVULA ÁC. CLORÍDRICO	0
BOMBA ÁC. SULFÔNICO	0	VÁLVULA ÁC. SULFÔNICO	0
BOMBA HIPOCLORITO	0	VÁLVULA HIPOCLORITO	0
BOMBA SODA	0	VÁLVULA SODA	0

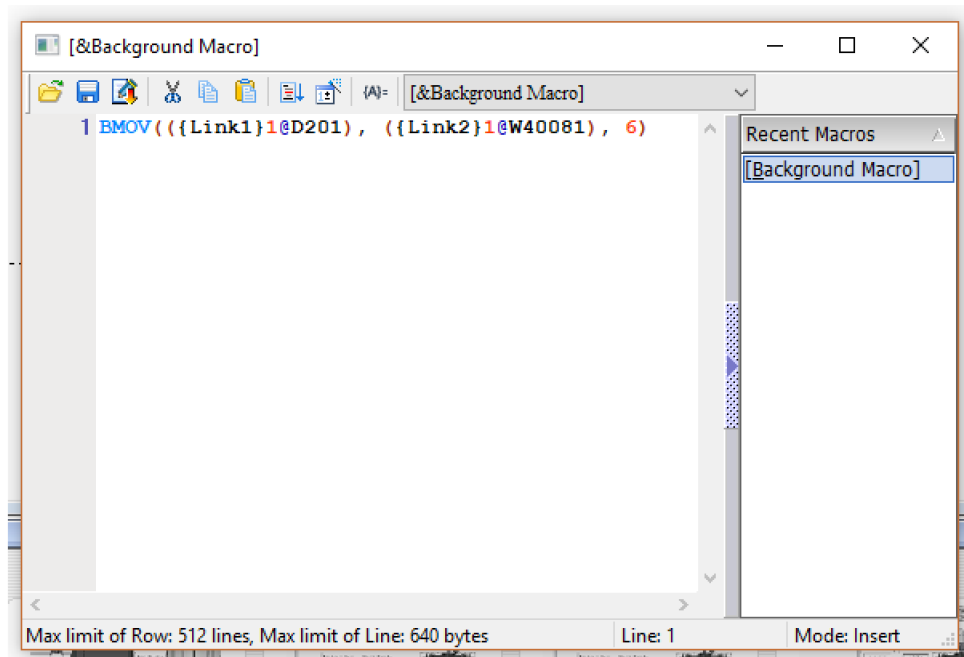


Por fim, foi criada a tela do sexto reator, a qual possui a representação de um tanque com um motor do misturador acima. A imagem do tanque com o misturador é um botão liga/desliga do dispositivo e também um indicador de status, estando azul se desligado e verde quando é acionado. O mesmo acontece para a representação do tubo, localizado na parte inferior do reator. A tela possui ainda um campo numérico para inserção da frequência de rotação do misturador.

Figura 15 – Projeto da Tela do Sexto Reator



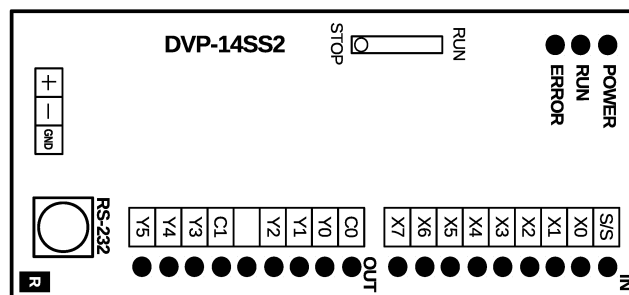
Para transferir o valor recebido da balança na IHM para o CLP, foi utilizada uma macro do tipo *Background Macro*, a qual move o valor do registrador da balança para uma variável do CLP, assim ela pode ser manipulada dentro da lógica ladder. Conforme a figura 16, foi utilizada a função BMOV, a qual move um bloco de dados sequenciais e segue o modelo BMOV(Var1, Var2, Var3), sendo os valores contidos no endereço Var2 transferidos para o endereço Var1. Var3 é o comprimento do bloco.

Figura 16 – Configuração da *Background Macro*

4.2 Implementação do Sistema

O CLP utilizado para implementar a programação ladder da planta pertence à Delta Automação® e é do modelo DVP14SS211T/R. A figura 17 mostra a representação da pinagem de um CLP deste modelo. Conforme *Kalatec Automação (Acesso em 2017a)®*, ele possui oito entradas digitais e seis saídas digitais, sendo quatro saídas de pulso de alta velocidade com frequência máxima de 10KHz. Este CLP conta ainda com uma capacidade de memória de 8K e portas de comunicação RS232 e RS485 compatíveis com o protocolo Modbus ASCII/RTU podendo ser mestre ou escravo da rede.

Figura 17 – Pinagem do CLP Delta® DVP14SS2



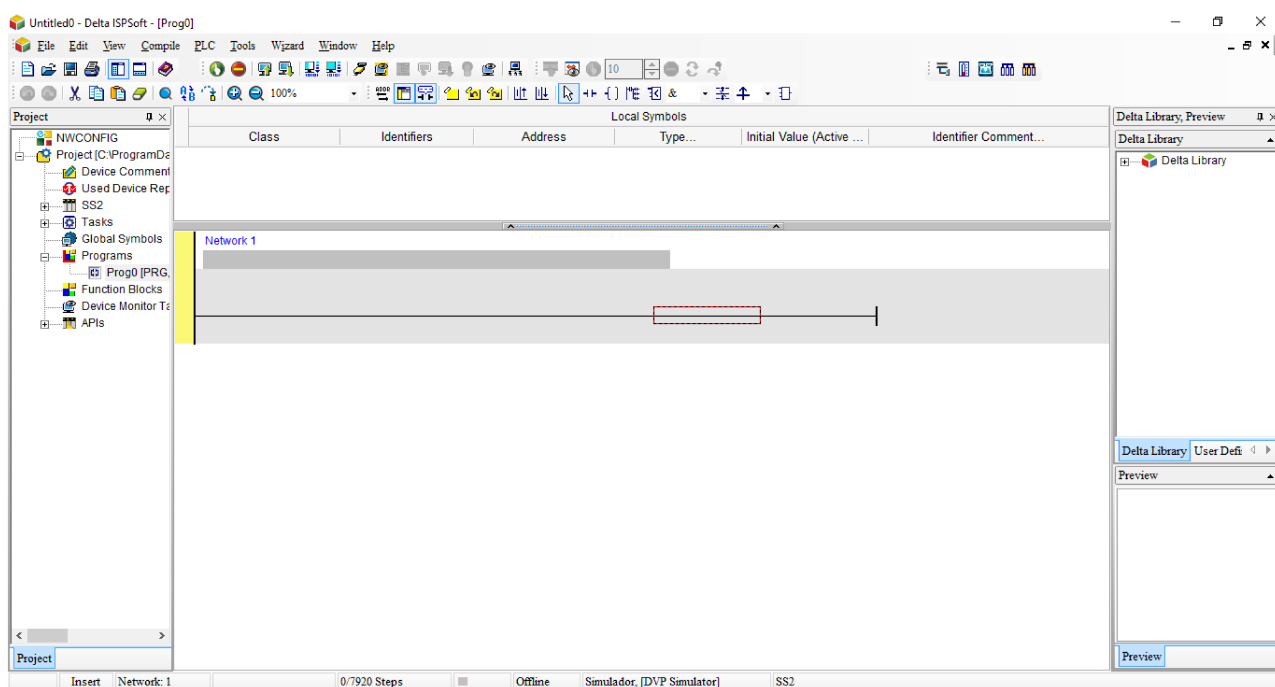
Fonte: Adaptado de Akparibo, Appiah e Fosu-Antwi (2016)

A programação ladder é realizada a partir do software ISPSOft®, representado na figura 18, que é amigável e seu download é gratuito. A utilização deste CLP se deve ao

fato dele ser relativamente barato, de tamanho pequeno, flexível e de fácil utilização. Isso favorece a montagem do painel elétrico (VALVERDE-ELIZONDO, 2016).

Na planta toda existem cinco CLPs, cada um com uma expansão analógica e uma expansão digital. Nesta etapa do processo, foi realizada a programação da lógica de controle do processo.

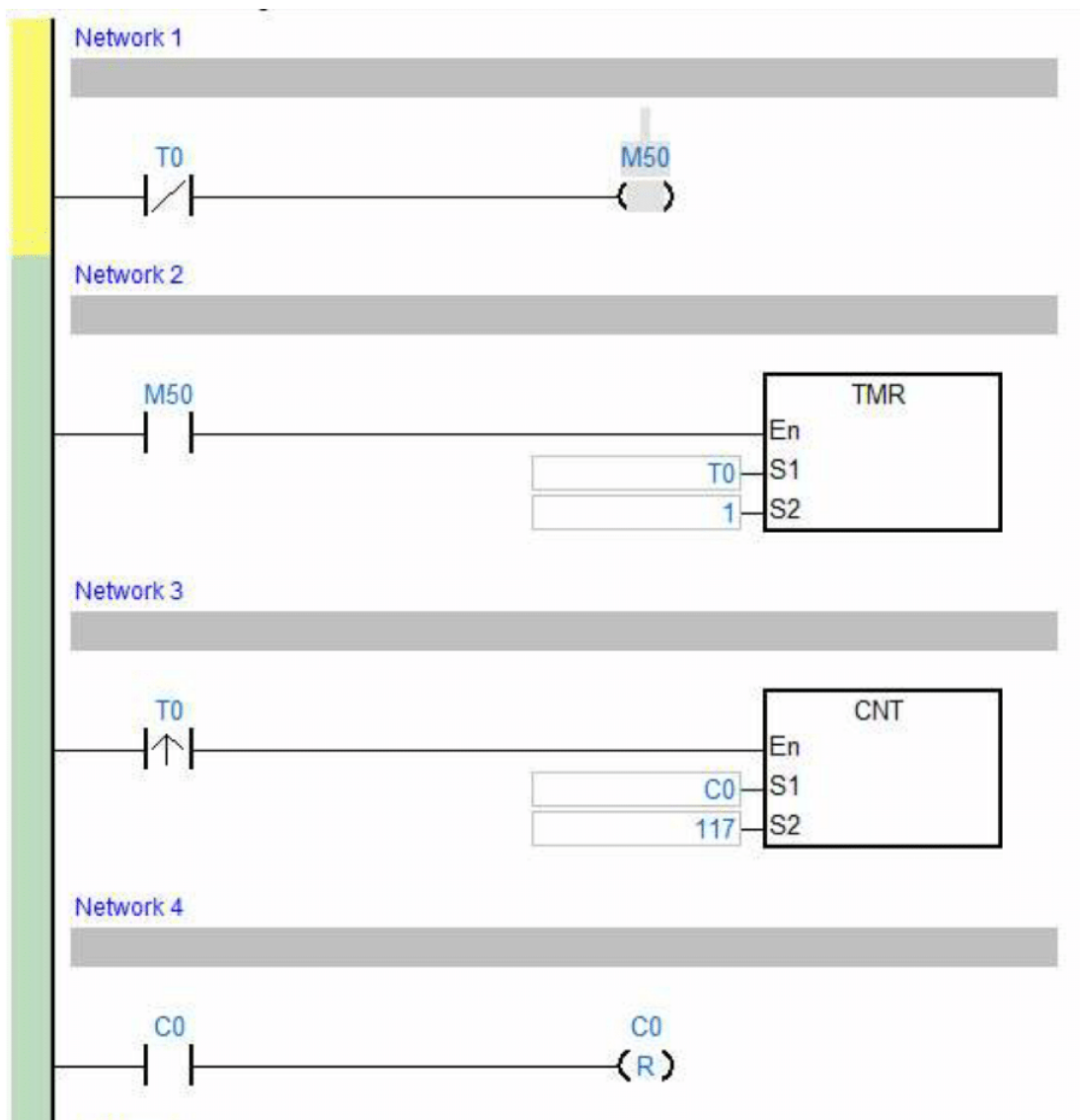
Figura 18 – Ambiente de trabalho ISPSOft®



O programa foi dividido em rotinas, sendo uma principal, uma para os alarmes e uma para cada substância utilizada no reator. A rotina principal é responsável pelas animações da tela de inicialização, do misturador e dos canos. Nela temos ainda a programação da saída analógica da velocidade do inversor e o acionamento do misturador.

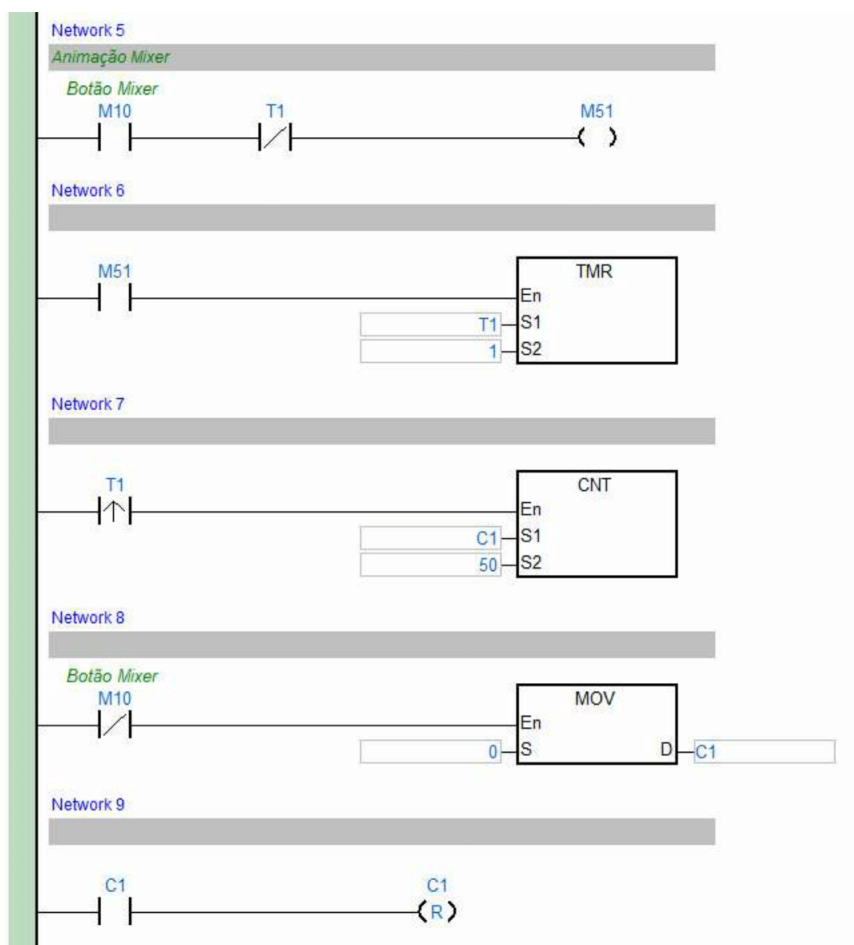
A lógica ladder representada pela figura 19 é referente à animação que ocorre quando o CLP é energizado. Ao iniciar o CLP, a variável auxiliar M50 é acionada, dando início ao primeiro pulso do temporizador T0, o qual é usado como um gerador de pulsos a cada milissegundo. Cada pulso do temporizador incrementa o contador C0 e a cada incremento é mostrado um novo frame da animação. A animação inicial é composta por 117 frames e quando chega ao final, o contador é resetado, recomeçando a animação. A lógica se repete até que o operador pressione a tela, quando é redirecionado à tela principal.

Figura 19 – Lógica Ladder da animação inicial



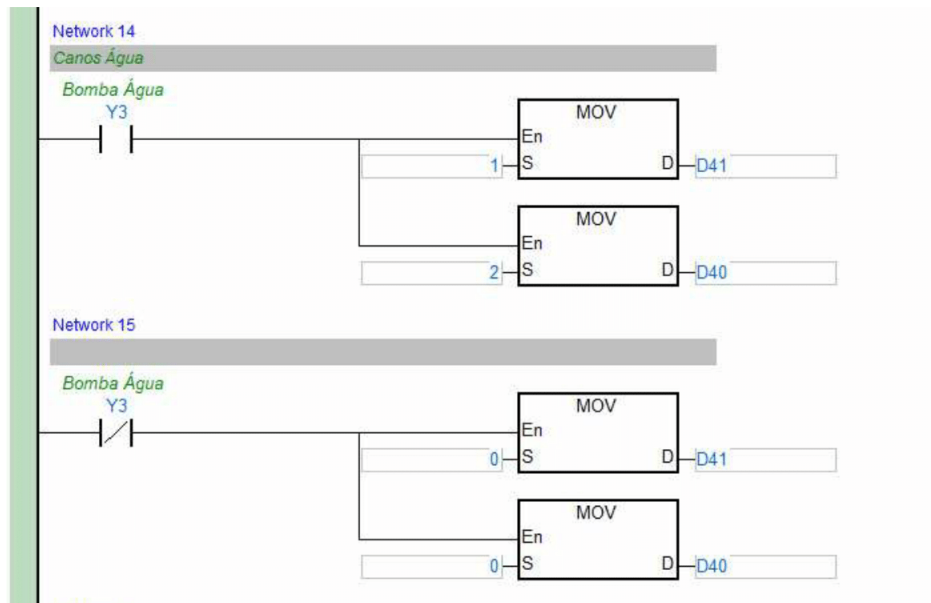
Outra lógica contida na rotina principal é a animação do misturador, a qual inicia-se logo que o operador pressiona a figura do tanque com o misturador, pressionando assim o botão M10. O restante da lógica, como pode ser observado na figura 20, segue a mesma ideia da animação inicial. A animação para apenas quando o botão do misturador é pressionado novamente.

Figura 20 – Lógica Ladder da animação do misturador



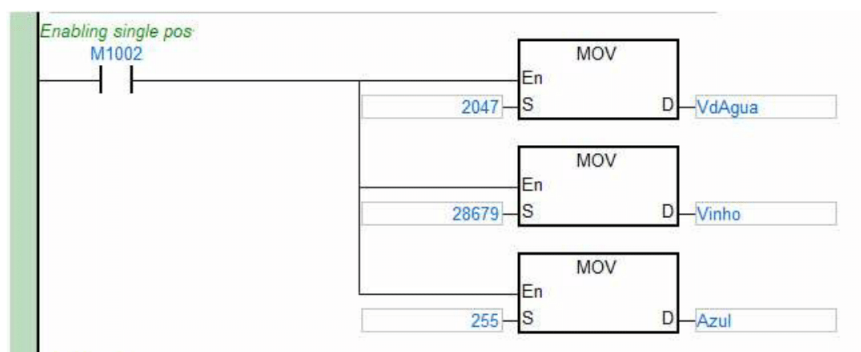
A animação dos canos baseia-se em dois parâmetros: um endereço que deve ser uma memória interna do controlador, o qual determina a direção em que a representação do fluido, e uma variável que representa a cor que ilustrará o fluido. A figura 21 mostra a manipulação do endereço de leitura para uma das substâncias. Quando a variável recebe o valor 1, se o cano for horizontal, o sentido do fluido é da direita para a esquerda. Se o cano for vertical, o sentido é de baixo para cima. Caso a variável de leitura receba o valor 2 e o cano for horizontal, a animação flui da esquerda para a direita. Finalmente, se o cano for vertical irá fluir de cima para baixo. Se a variável receber um valor diferente de 1 e 2, não ocorre a animação. No caso das substâncias, os canos serão animados sempre que a bomba da devida substância estiver em funcionamento. A lógica da figura 21 determina a animação dos canos da água.

Figura 21 – Lógica do sentido de fluxo dos líquidos nos canos



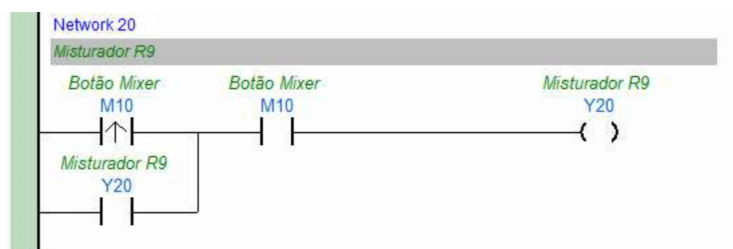
A manipulação das variáveis responsáveis pela cor da animação é demonstrada na figura 22 para três cores: verde água, vinho e azul respectivamente. As cores escolhidas são próximas da real cor do fluido. Para alterar a cor, basta mover o valor referente à tonalidade desejada pra uma memória interna do CLP. Neste caso, elas foram alocadas nos respectivos endereços: D82, D81 e D80.

Figura 22 – Lógica das cores dos líquidos nos canos



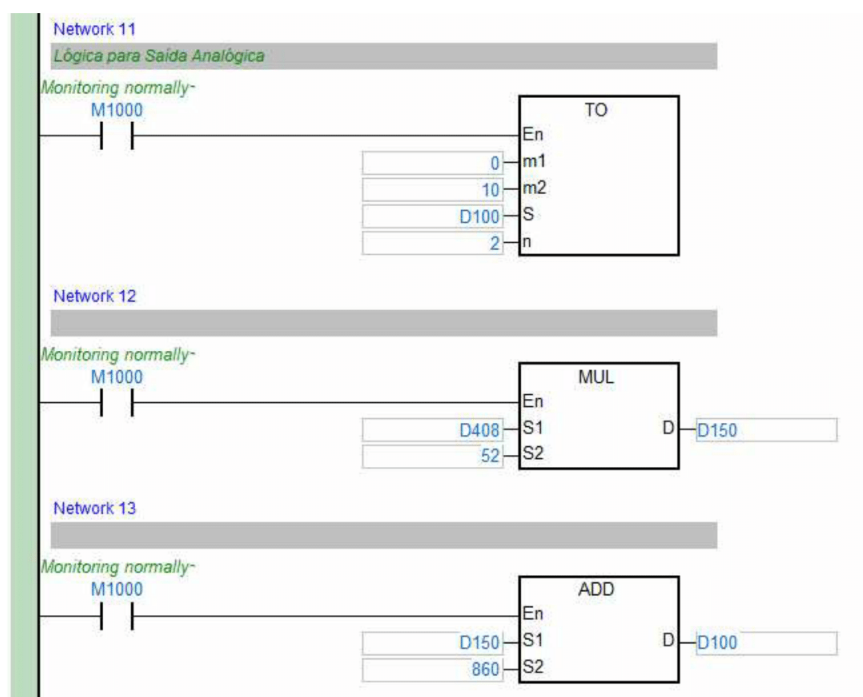
Ainda na rotina principal, existem as lógicas para o misturador. Para acionar ou desligar o misturador, basta apertar o botão. Assim, conforme a figura 23, a lógica depende apenas do botão acionado. O selo com a saída permite que o misturador permaneça acionado até que o botão seja desapertado.

Figura 23 – Lógica de acionamento do misturador



Por fim, a rotina contém a lógica de velocidade do misturador, ilustrado na figura 24. O bloco TO configura as saídas analógicas do CLP e o restante da lógica manipula valores para o valor correto da velocidade a ser enviada para o inversor.

Figura 24 – Lógica de velocidade do misturador



A lógica para as substâncias segue o mesmo modelo para cada uma delas. Como vemos na figura 25, ao apertar o botão da dosagem, a válvula da substância é aberta e aciona um temporizador de tempo configurável na IHM. Conforme ilustra a figura 26, após decorridos alguns segundos definidos para o temporizador T2, estando a válvula aberta e o botão de dosagem ainda pressionado, aciona-se a bomba.

Figura 25 – Lógica ao pressionar o botão da dosagem

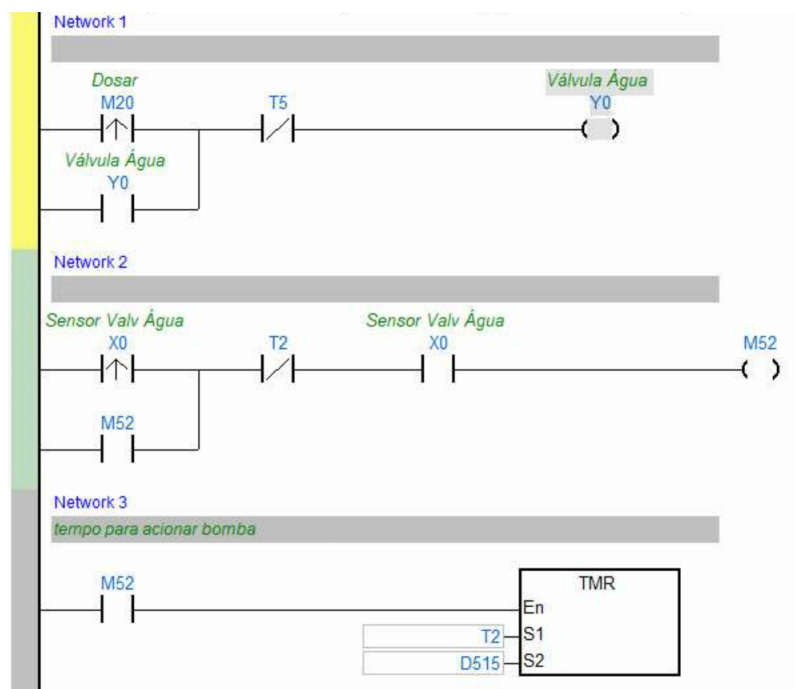
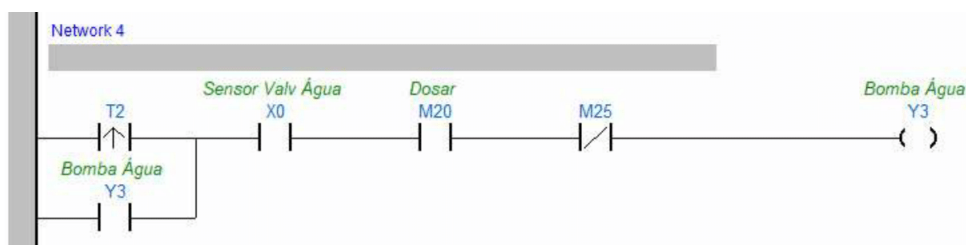
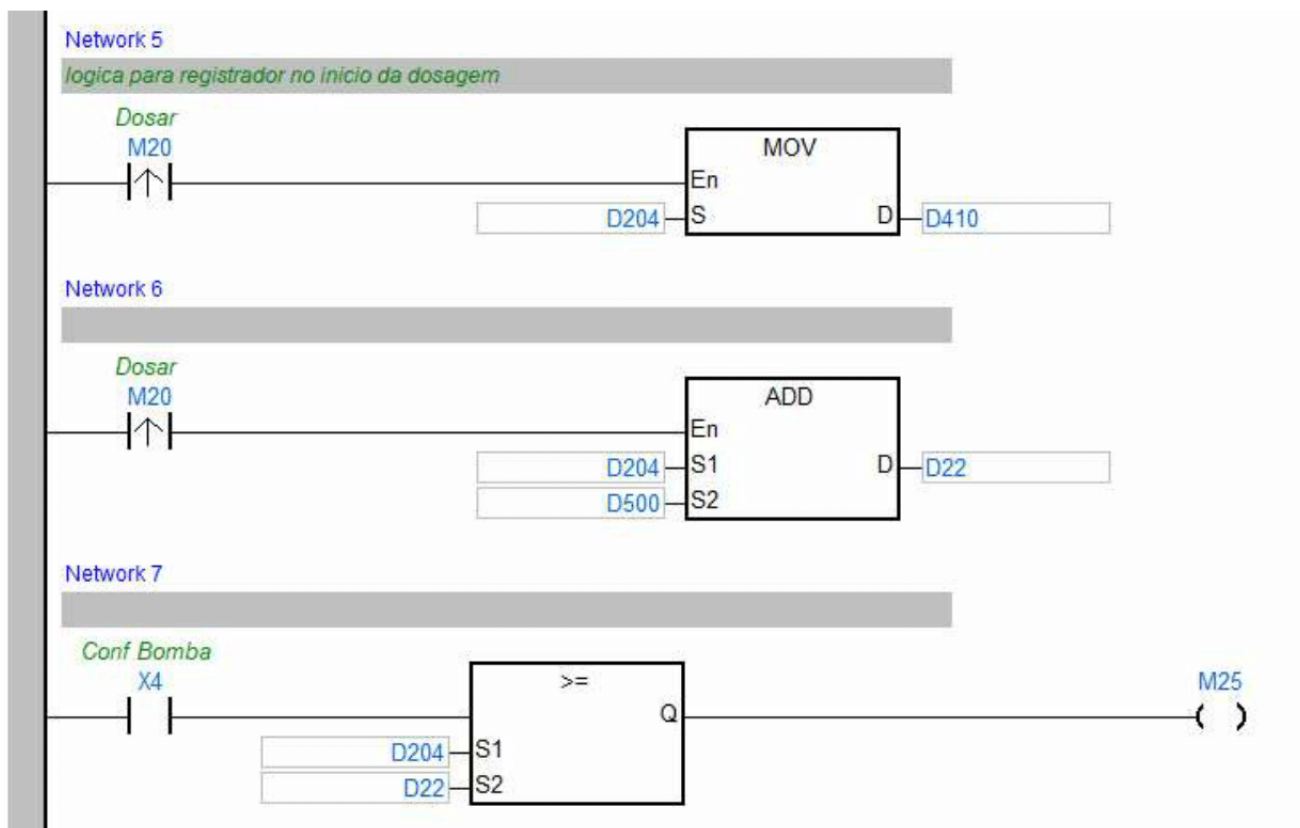


Figura 26 – Lógica de acionamento da bomba



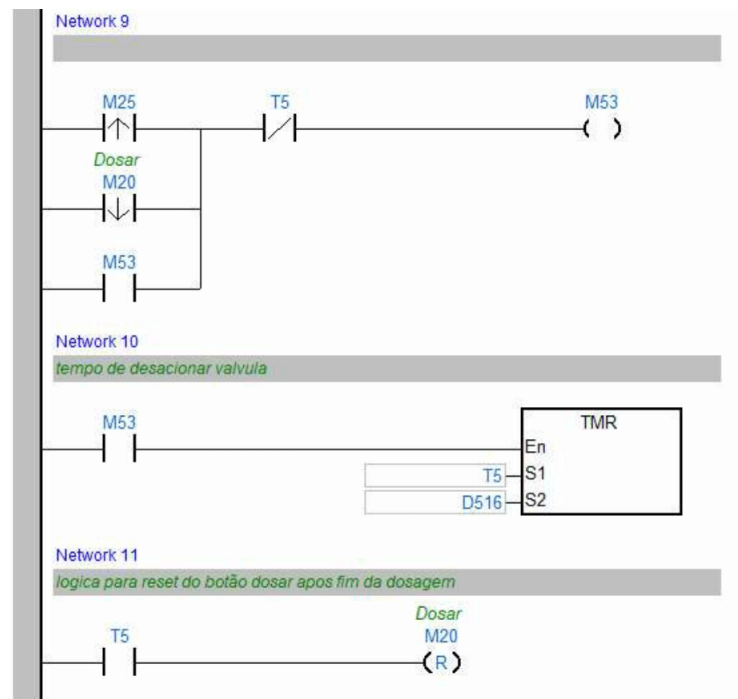
Para registro da quantidade presente antes de iniciar uma nova dosagem, move-se o valor presente no registrador que guarda o valor do peso para uma variável interna do CLP, como na figura 27. No momento que o botão é pressionado, adiciona-se ao valor do peso presente no reator, a quantidade desejada a ser dosada da substância e este novo valor é gravado numa nova variável interna, a D22. O produto então é dosado até que a quantidade desejada inserida pelo operador seja atingida. Então, a bomba é desligada e fecha-se a válvula. Para que isto ocorra, o valor inserido pelo operador e gravado na D22 é comparado com o valor recebido da balança via Modbus.

Figura 27 – Lógica para registro de variáveis a serem manipuladas



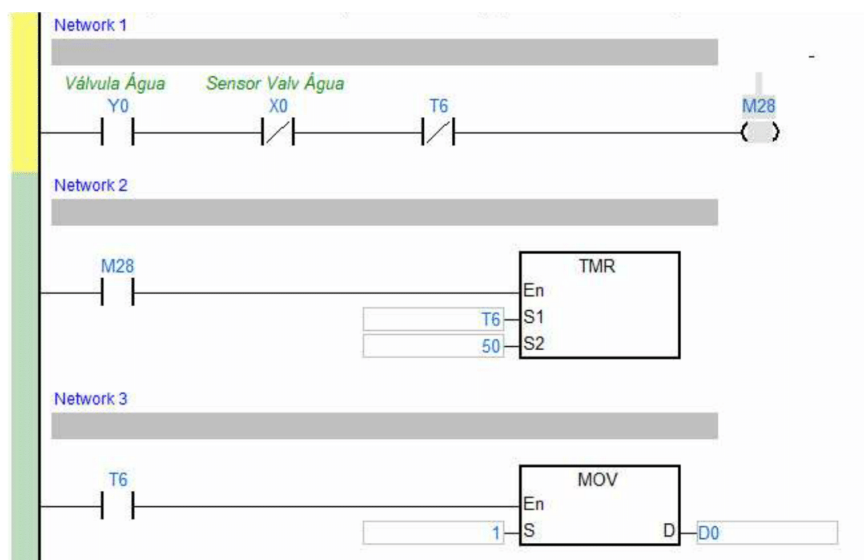
O peso presente no reator é sempre atualizado na tela para o operador em tempo real. Finalizada a dosagem, a bomba é desligada e um temporizador acionado, para que ao fim deste, a válvula seja desativada. Após o fim da dosagem o botão é desacionado. Isto é representado pela figura 28. Toda a lógica descrita acima se repete para as demais substâncias.

Figura 28 – Lógica final da subrotina para a substância



Existem ainda os alarmes do processo, os quais verificam falha em alguma das válvulas ou bombas. No caso de haver falha, uma mensagem de segurança é exibida na tela e ocorre parada do sistema. Um exemplo de alarme é ilustrado na figura 29, que é o caso de envio de sinal para abertura da válvula, porém devido a alguma falha não ocorre de fato o seu acionamento.

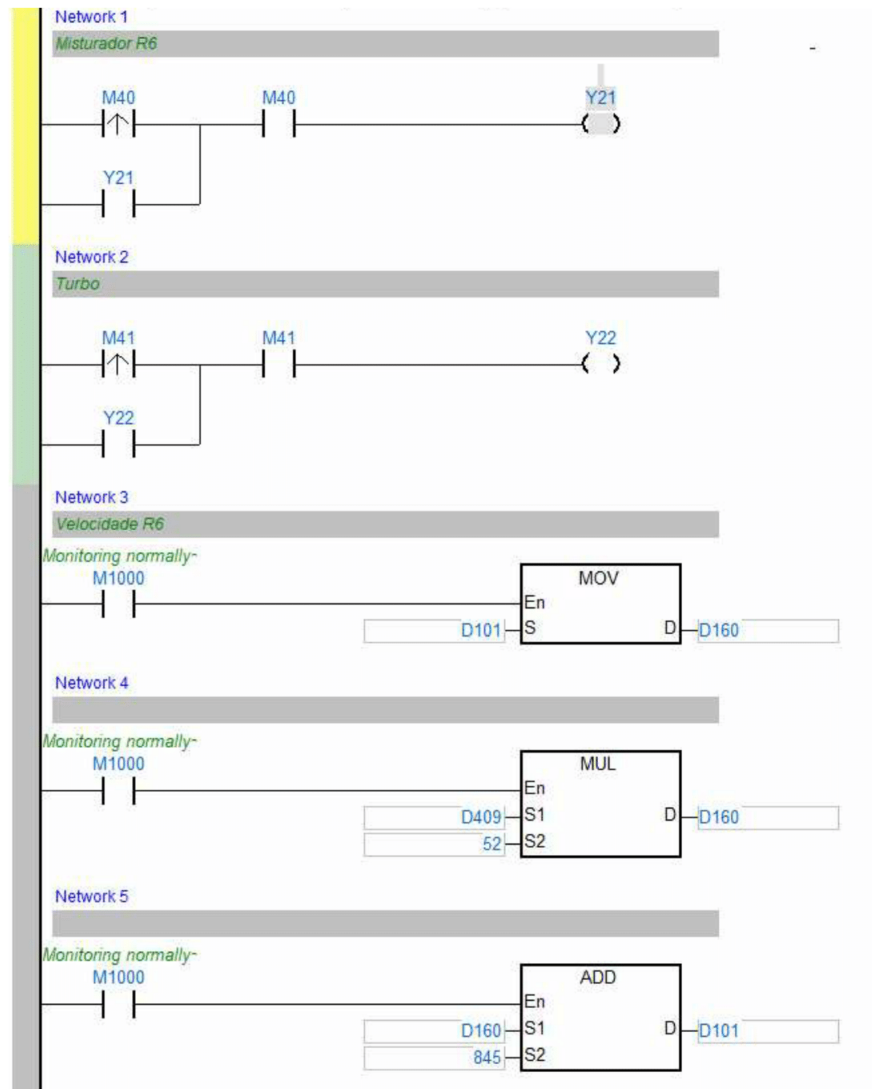
Figura 29 – Lógica de alarme da válvula



Além das lógicas das rotinas supramencionadas, as quais existem para os cinco

reatores, há a lógica do sexto reator (Figura 30). Nesta rotina foram programados o acionamento e desacionamento tanto do misturador quanto do turbo, e a manipulação dos dados para a saída analógica responsável pela velocidade do misturador.

Figura 30 – Lógica do sexto reator



É importante ressaltar ainda a existência de um botão cogumelo instalado fisicamente no painel no caso de falha do processo não detectada automaticamente. Caso este botão seja pressionado, também ocorre a parada total do processo.

4.3 Indicador de Pesagem

Uma necessidade das indústrias é transformar tanques em balanças a fim de controlar e realizar correta manipulação de seus produtos. Isto é possível graças às chamadas células de carga conectadas à indicadores de pesagem (BALANÇAS JUNDIAÍ, 2017a).

As células de carga possuem diversos modos de instalação, porém iremos comentar apenas sobre as células montadas por compressão, que são geralmente utilizadas em tanques que trabalham em batelada. Nesta forma de montagem, posiciona-se diversas células de carga abaixo da estrutura ou dos pés do tanque, sendo o peso colocado acima delas (HBM, 2017).

Figura 31 – Célula de Carga



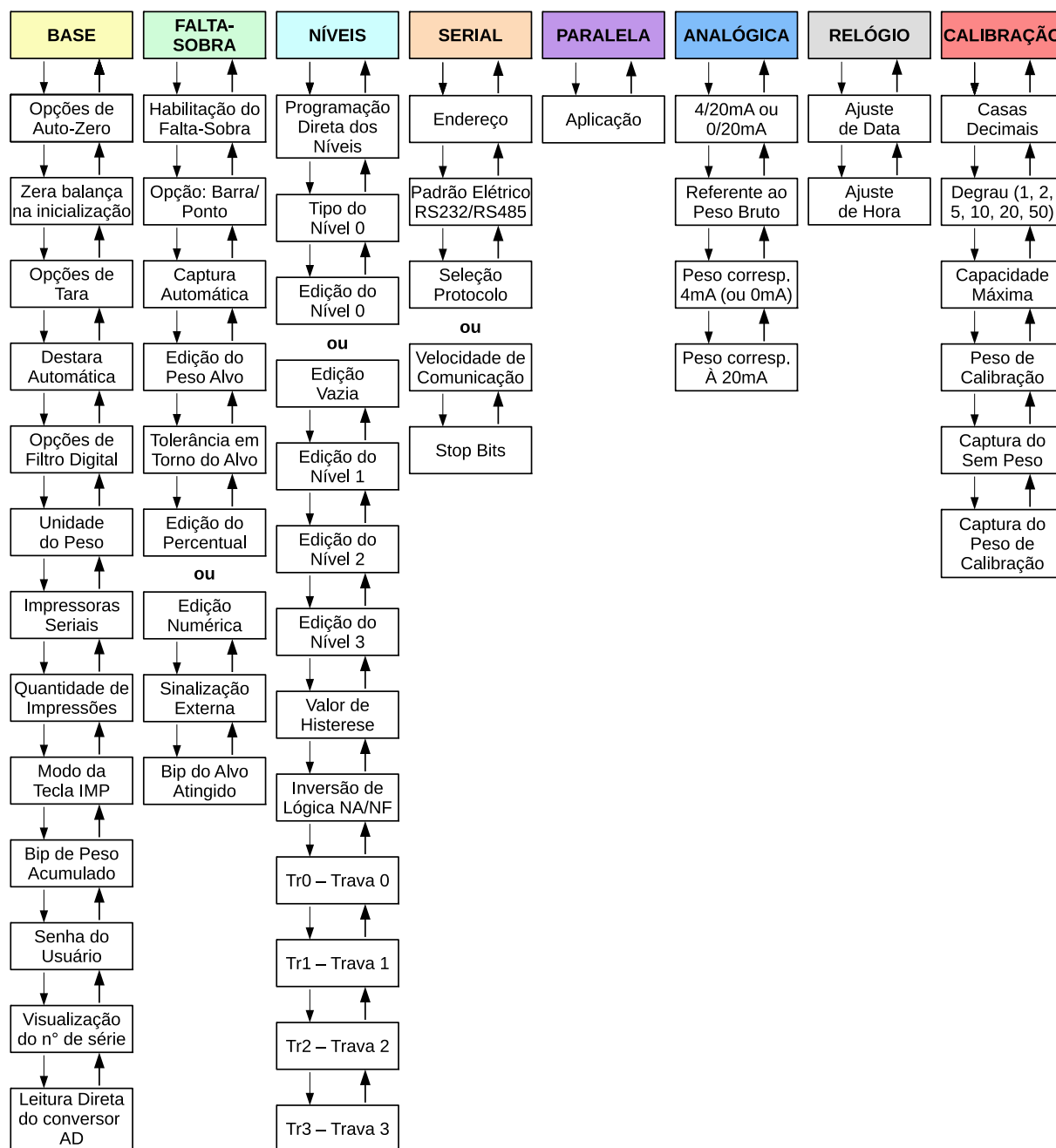
Fonte: Adaptado de *Toledo do Brasil (2017)*

No sistema de pesagem industrial temos então as células de carga conectadas a indicadores ou transmissores de peso. Os indicadores possuem ainda os recursos de conexão com outros equipamentos de campo, como CLP, IHM, sistemas supervisórios e impressoras (BALANÇAS JUNDIAÍ, 2017c).

Indicadores de pesagem são dispositivos eletrônicos que realizam a leitura das células de carga do sistema conectadas a estes equipamentos. A partir do momento que as células e o indicador estão ligados, se torna a balança do processo. Como ele é um dispositivo eletrônico, existem internamente conversores analógicos digitais de alta resolução, bem como filtros digitais inteligentes que o tornam preciso e atribuem confiabilidade (BALANÇAS JUNDIAÍ, 2017b).

Portanto, a célula de carga realiza a medição da deformação sofrida e envia ao indicador em forma de sinais de tensão ou corrente. O indicador, por sua vez, transforma os sinais recebidos no valor do peso com alta precisão. O indicador da família 3100C da Alfa Instrumentos® é robusto e foi projetado para ambientes hostis, são protegidos contra curto-circuito e interferências eletromagnéticas nas entradas e saídas. Sua montagem é feita em caixas inox IP66/67 e são de fácil higienização (ALFA INSTRUMENTOS, 2017).

Conforme o Alfa Instrumentos (2014), alguns de seus modelos da linha 3100C possuem o suporte a diversas redes, dentre elas o Modbus RTU. O indicador possui botões para configuração e calibração do aparelho. O fluxograma da figura 32 apresenta as interfaces e suas respectivas funções acessadas a partir dos botões presentes no dispositivo.

Figura 32 – Fluxograma das Interfaces e Funções Configuráveis Alfa[®]

Fonte: Adaptado de *Alfa Instrumentos (2014)*

Há duas possibilidades selecionáveis de padrões seriais: o RS-232 (SERIAL 1) e o RS-485 (SERIAL 3), protegidas contra descargas eletrostáticas até 15kV e possuindo resistor de balanceamento. Se o dispositivo localizar-se na extremidade da rede, ambas as chaves dos terminadores de linha devem estar na posição ON. Não é possível utilizar os dois meios físicos ao mesmo tempo, devendo selecionar um deles para comunicar. Já as demais configurações de endereço, protocolo e velocidade permanecem iguais, não

sendo dependente da saída serial escolhida. O indicador é substancialmente um escravo, necessitando a conexão ao equipamento mestre para ter acesso às informações da pesagem, já que o mestre é quem envia os comandos ao indicador para programá-lo ou ler os parâmetros dele.

Tabela 5 – Funções da Interface Serial

SERIAL	INTERFACE SERIAL
END	Endereço SERIAL 1 \ SERIAL 3
RS	Padrão Elétrico RS-232 ou RS-485
PR	Protocolo de Comunicação SERIAL 1 \ SERIAL 3
VC	Velocidade de Comunicação da SERIAL 1 \ SERIAL 3
STOP	Configuração dos <i>Stop Bits</i> , aplicável apenas ao protocolo MODBUS-RTU

Fonte: Adaptado de *Alfa Instrumentos (2014)*

A função END deve ser endereçada com 01 se o meio físico for RS-232, já que é ponto a ponto. Caso o meio utilizado seja RS-485, o endereço pode variar entre 0 e 99. O padrão elétrico é escolhido também conforme a tabela 6. Se estiver operando em RS-232, o R1 do indicador precisa ser ligado ao Tx do mestre e da mesma maneira, conectar o T1 do indicador ao Rx do equipamento mestre da rede. É necessário ainda que os sinais GND estejam interligados para o funcionamento da comunicação. No caso de operar em RS-485, devem ser interligados os sinais A do escravo com o do mestre, bem como realizar a interligação dos sinais B de ambos e os sinais GND.

Tabela 6 – Configuração do Padrão Elétrico

RS	PADRÃO ELÉTRICO DA SERIAL
232	RS-232
485	RS-485

Fonte: Adaptado de *Alfa Instrumentos (2014)*

Outro fator a ser configurado é o protocolo de comunicação que será utilizado para troca de informações. A configuração do tipo de protocolo segue o modelo da tabela 7. A seguir são listados os protocolos disponíveis e a configuração para cada um deles, bem como se esta é fixa ou pode ser modificada nas configurações.

- ALFA INSTRUMENTOS: 8 *data bits*, sem paridade, 1 *stop bit* - FIXA;
- MODBUS-RTU: 8 *data bits*, sem paridade, 2 *stop bits* - DEFAULT;
- PROFIBUS-DP: 8 *data bits*, sem paridade, 2 *stop bits* (Necessita gateway Mod.2222) - FIXA;
- DEVICENET: 8 *data bits*, sem paridade, 2 *stop bits* (Necessita gateway Mod.2202) - FIXA;

- ETHERNET: 8 *data bits*, sem paridade, 2 *stop bits* (Necessita gateway Mod.2212) - FIXA;
- TRANSMISSÃO CONTÍNUA: 8 *data bits*, sem paridade, 1 *stop bit* - FIXA;
- ALFA ASCII: 8 *data bits*, sem paridade, 1 *stop bit* - FIXA;
- T02: 8 *data bits*, sem paridade, 1 *stop bit* - FIXA;
- DF1 MULTIPONTO: 8 *data bits*, sem paridade, 1 *stop bit*, método de checagem LRC - FIXA;

Tabela 7 – Configuração do Protocolo de Comunicação

PR	PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO
Ai	ALFA Instrumentos
rtU	Modbus-RTU
PdP	Profibus-DP
dEv	DeviceNet
Eth	Ethernet
TrC	Transmissão Contínua
AA	ALFA ASCII
t02	Transmissão de dados no padrão do indicador 3102C (ASCII).
DF1	DF1 Multiponto

Fonte: Adaptado de *Alfa Instrumentos (2014)*

A próxima configuração é o ajuste do *baud rate*, que é a velocidade de comunicação. As velocidades disponíveis e o símbolo para cada valor é exibido na tabela

Tabela 8 – Configuração do *Baud Rate*

VC	VELOCIDADE DE COMUNICAÇÃO SERIAL
9.6	9600 bps
19.2	19200 bps
38.4	38400 bps
57.6	57600 bps
115	115200 bps

Fonte: Adaptado de *Alfa Instrumentos (2014)*

Por fim, configuramos apenas para o protocolo Modbus-RTU, a quantidade de *Stop Bits* na função STOP. Se a quantidade escolhida for 1, o tamanho total da *word* será de 10 bits, enquanto se houverem 2 *stop bits*, a *word* será de 11 bits.

Sempre que informações forem transmitidas pelo indicador, o LED Tx situado na parte frontal do indicador irá acender. Da mesma forma, quando ele receber dados, o LED Rx acende. Isto ocorre para notificar em tempo real a ocorrência de comunicação, bem como facilitar o diagnóstico em caso de falha da comunicação.

No indicador Alfa[®] com suporte ao protocolo Modbus, o registrador a ser programado é o 0059H. Mas como o acesso se dá via Modbus, deve-se referenciá-lo como 0058H. Todos os registradores deste indicador são do tipo *Holding Register*, sendo endereçados a partir de 40001, em decimal que corresponde ao primeiro registro. Portanto, o registrador 0058H é equivalente ao endereço 40089 (ALFA INSTRUMENTOS, 2000).

4.4 Comunicação Modbus RTU

A comunicação entre dispositivos Modbus usa o modelo mestre-escravo, onde o mestre envia a requisição e os dispositivos escravos respondem ao mestre de acordo com a solicitação. No modo de transmissão RTU a comunicação inicia com um intervalo de 3,5 caracter e cada byte de mensagem é repartido em dois caracteres hexadecimais para serem enviadas. Este modo possui ainda o campo CRC que realiza a checagem da comunicação e gera uma mensagem de erro em caso de falha (SOUZA, 2009).

Cada reator da planta possui células de carga para determinar seu peso e um indicador Alfa[®] da série 3100C com suporte ao protocolo Modbus RTU, como mostrador do valor lido. Para receber este valor, foi utilizada comunicação serial da IHM com o indicador via Modbus RTU RS-485. Para esta comunicação, foram configurados os parâmetros para um *baud rate* de 9600 bps, *data length* de 8 bits, 2 *stop bits* e sem paridade.

Os indicadores de pesagem utilizados pertencem à linha 3100C da Alfa Instrumentos[®], que são utilizados em balanças industriais em diversos tipos de indústrias devido à sua robustez e por serem projetados para trabalhar em ambientes industriais hostis. Este é configurado para Modbus RTU com padrão elétrico RS-485, o qual possui arquitetura bidirecional, *half-duplex*, com base em um sistema de transmissão de dados diferencial, diminuindo os ruídos na conexão (ALFA INSTRUMENTOS, 2014). O indicador possui duas chaves de terminação de linha e foi feito para a comunicação um cabo Mini DIN 8 pinos para DB9 com malha blindada.

O indicador foi configurado com endereço 01, velocidade de comunicação de 9600bps e 2 *stop bits*. Ele é um dispositivo essencialmente escravo, por isto necessita de um mestre que neste caso é a IHM. Esta é responsável por enviar comandos de programação e leitura dos parâmetros do indicador. A leitura é realizada utilizando o registrador inicial 40081, com 6 bytes de tamanho.

A leitura do peso é armazenada no registrador 40084. Quando a informação é transmitida, o LED Tx é aceso em tempo real e quando a informação é recebida acende-se o LED Rx.

Figura 33 – Indicador de peso Alfa[®] da linha 3100C



Fonte: Alfa Instrumentos (Acesso em 2017)

Para a leitura do peso lido pelo indicador, utiliza-se o código de função 3. A fim de solicitar o envio do peso, tara e status atuais, configura-se como 81 o número do registrador inicial e 6 registradores. Dessa forma, o indicador irá enviar os dados conforme indicado na tabela 4.4.

Tabela 9 – Leitura dos dados do Indicador

Bytes Lidos	18
Registrador 81	bits 15 à 8 = 0
	bit 7 = 1
	bit 6 = 1 – ocorreu sobrecarga
	bit 5 = 1 – ocorreu saturação
	bit 4 = 1 – balança está em movimento
	bit 3 = 1 – o peso aplicado à balança é negativo
	bits 2 à 0 = posição do ponto decimal, em binário
Registrador 82	bits 15 à 8 = 0
	bit 7 = 1
	bit 6 = 1 – ocorreu alteração local de parâmetros pelo display ou teclado
	bits 5 e 4 = 0
	bit 3 = 1 – ocorreu passagem pelo SetPoint VAZIA
	bit 2 = 1 – ocorreu passagem pelo SetPoint3
	bit 1 = 1 – ocorreu passagem pelo SetPoint2
	bit 0 = 1 – ocorreu passagem pelo SetPoint1

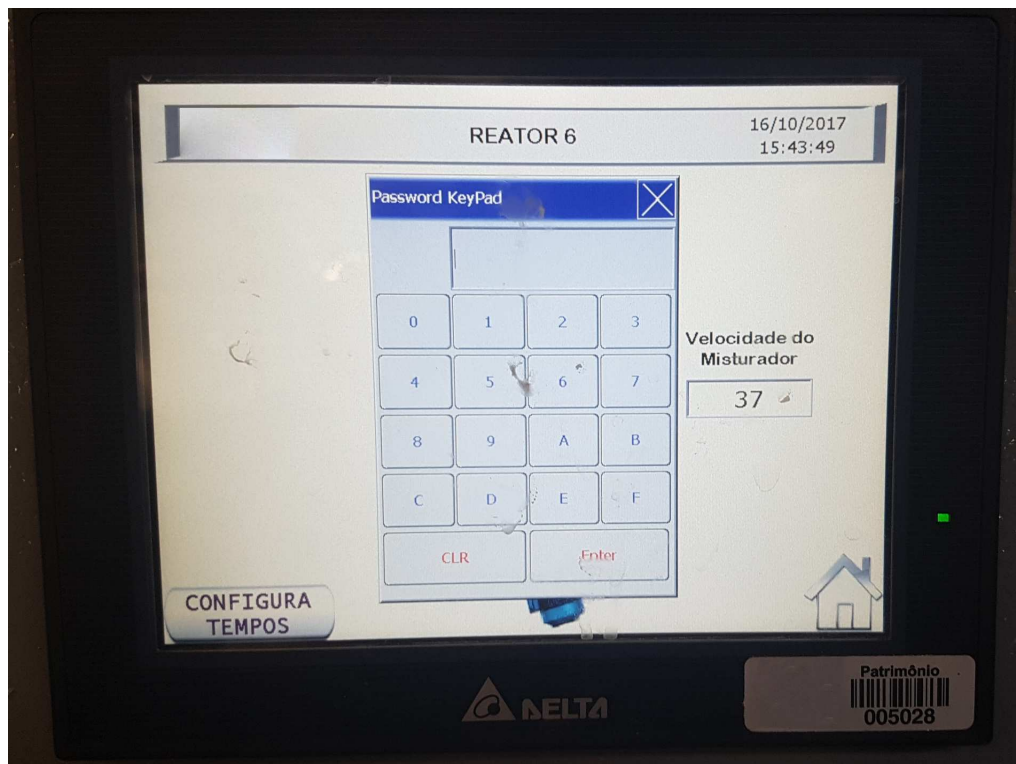
Registrador 83	Valor múltiplo de 65536, correspondente aos 16 bits mais significativos do peso. O indicador trata o valor total do peso da seguinte forma: (conteúdo Reg83*65536) + conteúdo Reg84
Registrador 84	16 bits menos significativos do valor do peso, limitado a 65535 unidades
Registrador 85	Valor múltiplo de 65536, correspondente aos 16 bits mais significativos da tara. O indicador trata o valor total da tara da seguinte forma: (conteúdo Reg85*65536) + conteúdo Reg86
Registrador 86	16 bits menos significativos do valor da tara, limitado a 65535 unidades

Fonte: Adaptada de *Alfa Instrumentos (2000)*

5 Resultados e Discussões

Devido ao fato de a IHM ser o mestre da rede e quem realiza a troca de informações entre o CLP e o indicador, a melhor maneira encontrada para demonstrar os resultados obtidos pelo projeto é através de imagens tiradas das telas da IHM em funcionamento. Estas contemplam todas as telas propostas, as quais serão exibidas nesta seção. A tela onde os parâmetros temporais do sistema podem ser alterados deve ser protegida por senha. Foi realizada então a tentativa de acessá-la, e conforme demonstra a figura 34, esta exige a senha de acesso. Caso a senha não esteja correta, a tela permanece do mesmo modo até que ela seja correspondente à senha programada.

Figura 34 – Tentativa de acesso à tela com proteção por senha



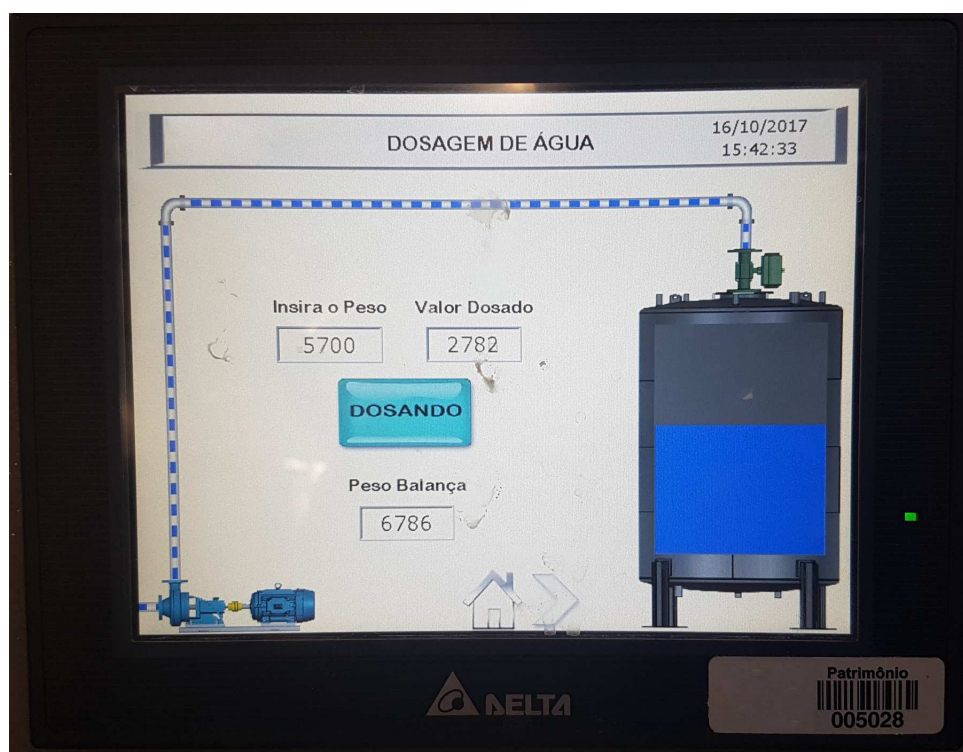
A tela principal possui, de acordo com a figura 35, a representação gráfica do tanque e seu volume, um indicador numérico do peso do reator, uma entrada numérica da velocidade do inversor relacionado ao misturador e uma animação que ocorre enquanto o misturador estiver ligado. Existe ainda a representação das válvulas de cada produto, cujos canos são animados caso a bomba correspondente esteja ligada. A figura 35 retrata a situação em que o misturador está ligado e a substância dosada no momento é a água, como nota-se pelas animações do líquido sendo misturado e dos canos.

Figura 35 – Representação da tela principal do sistema



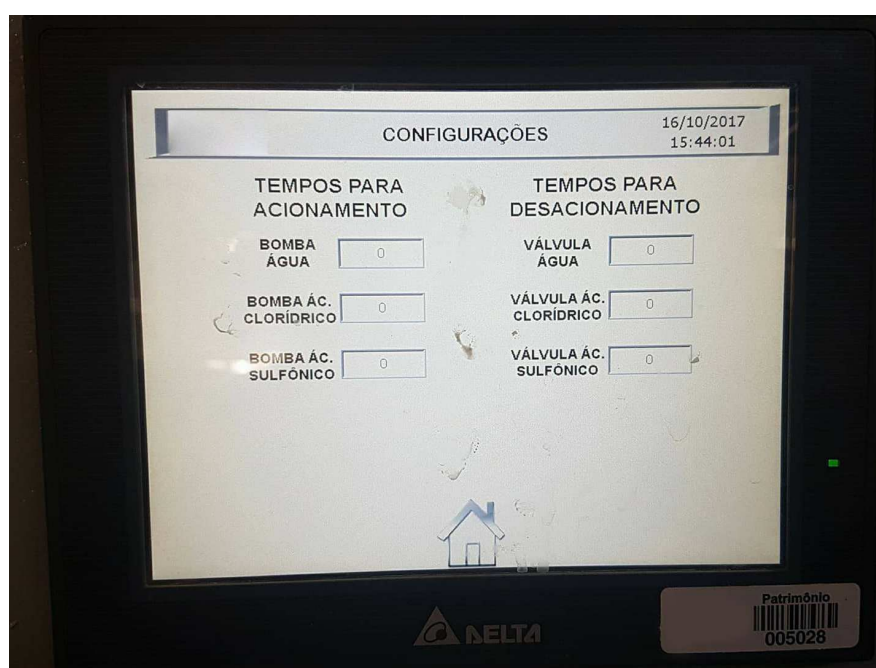
Na tela de cada substância, existe a representação do modelo de bomba utilizada, a representação dos canos, os quais são animados sempre que a bomba estiver acionada. Existe ainda um indicador de status da válvula, a representação do tanque e o volume atual presente neste. Além disto, possui um campo onde o operador insere o valor do peso a ser dosado e aperta o botão "dosar", então a dosagem é iniciada. A quantidade dosada é mostrada em tempo real, bem como o peso do reator. A figura 36 retrata a tela da água durante a dosagem. Percebe-se o funcionamento pelos status do botão e da válvula, bem como pela animação dos canos.

Figura 36 – Representação da tela da substância



A tela de parâmetros temporais é onde estes podem ser alterados para evitar o estouro dos canos por pressão do líquido, garantindo a segurança do processo e do operador. A figura 37 mostra a tela com os campos numéricos para configuração dos tempos.

Figura 37 – Representação da tela dos parâmetros temporais



O sexto reator possui apenas uma tela, com o indicador dos status do misturador e do turbo. Ao tocar em algum, este será ligado. Existe ainda a possibilidade de alterar a velocidade do misturador, sendo limitada ao máximo de 60 Hz. Na figura 38, nota-se que o misturador está em funcionamento, mas o turbo não se encontra ligado.

Figura 38 – Representação da tela do sexto reator



Pelas imagens é possível perceber que o sistema funciona da maneira correta. O sistema real se mostra viável, preciso e seguro.

6 Conclusão e Trabalhos Futuros

O desenvolvimento do presente estudo proporcionou a análise de como dispositivos de baixo custo podem ser eficientes na automação de processos. Através deste trabalho garante-se ainda a motivação dos proprietários de fábricas a investir em inovações tecnológicas para suas empresas.

A partir desta análise, nota-se que a IHM promoveu uma monitoração eficaz das variáveis do processo, com objetos de interface intuitivos facilitando a interação do operador. Além disto, a lógica do sistema se mostrou simples e sem grandes complicações. Da mesma forma, a comunicação Modbus utilizada atendeu bem ao sistema proposto, não gerando variações entre o valor lido e o real, e sem falhas na rede.

Daí, pode-se dizer que o sistema foi totalmente desenvolvido conforme a proposta, utilizando a comunicação Modbus para a leitura do peso, acordando com a macro da Figura 16. Este sistema atua sobre o acionamento das bombas e abertura das válvulas, de acordo com a lógica retratada pelas Figuras 26 e 25, respectivamente. Também é possível notar sua atuação na tela da IHM da Figura 36. O sistema atua inclusive no acionamento dos misturadores e na alteração da frequência de rotação destes, conforme as lógicas ilustradas nas figuras 23 e 24, o status da animação do misturador e o campo numérico de velocidade da Figura 35. Foram realizados ainda os intertravamentos do processo, permitindo desta maneira que os objetivos propostos fossem realmente alcançados.

É importante destacar ainda os softwares abertos que foram utilizados. Dentre eles, o software ISPSOft[®] permitiu a realização da lógica Ladder que comandou todas as variáveis conectadas ao CLP através das tomadas de decisão programadas. Já o software DOPSOft[®] possibilitou a configuração da IHM, bem como a criação de suas telas e a programação da interface.

Dada a importância do assunto, sugere-se em trabalhos futuros inserir uma parte totalmente automática com o cadastro de receitas, onde ao escolher o produto desejado, o sistema realize toda a fabricação sem a necessidade do operador.

Nesse sentido, a utilização de dispositivos de baixo custo permitem acompanhar os avanços tecnológicos com investimento inicial menor e sem gastos adicionais em software e atualizações. Desta forma se torna rentável para o empresário e simples para o programador, motivando a ambos.

Referências

AKPARIBO, A. R.; APPIAH, A.; FOSU-ANTWI, O. Development of a programmable logic controller training platform for the industrial control of processes. *American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences (ASRJETS)*, v. 15, n. 1, p. 186–196, 2016. Citado na página 37.

ALFA INSTRUMENTOS. *Protocolo de Comunicação Modbus RTU/ASCII*. [S.l.], 2000. Disponível em: <https://www.dca.ufrn.br/~affonso/FTP/DCA447/modbus/modbus_manual.pdf>. Citado 3 vezes nas páginas 27, 51 e 53.

ALFA INSTRUMENTOS. *Indicadores de Pesagem 3100C - Manual de Instalação e Operação*. 8. ed. São Paulo - SP, 2014. Citado 5 vezes nas páginas 47, 48, 49, 50 e 51.

ALFA INSTRUMENTOS. *LINHA 3000 C - INOX IP-67 - Alfa Instrumentos*. [S.l.], 2017. Disponível em: <<http://www.bjjundiai.com.br/indicador-pesagem-digital>>. Citado na página 47.

ALFA INSTRUMENTOS. *INDICADOR TRANSMISSOR DE PESAGEM - Modelo 3104C*. [S.l.], Acesso em 2017. Disponível em: <<https://html1-f.scribdassets.com/7za8phv4u87gu4j/images/1-3112c33bb9.jpg>>. Citado na página 52.

BALANÇAS JUNDIAÍ. *Células de carga para tanques*. [S.l.], 2017. Disponível em: <<http://www.bjjundiai.com.br/celulas-carga-tanques>>. Citado na página 46.

BALANÇAS JUNDIAÍ. *Indicador de pesagem digital*. [S.l.], 2017. Disponível em: <<http://www.bjjundiai.com.br/indicador-pesagem-digital>>. Citado na página 47.

BALANÇAS JUNDIAÍ. *Sistema de pesagem industrial*. [S.l.], 2017. Disponível em: <<http://www.bjjundiai.com.br/sistema-pesagem-industrial>>. Citado na página 47.

BALLOCK, I. R. Protótipo de um sistema para supervisão de equipamentos industriais. *Trabalho de conclusão de curso Ciência da Computação, Universidade Regional de Blumenau, Santa Catarina*, 2003. Citado na página 16.

BARROS, M. R. Estudo da automação de células de manufatura para montagens e soldagem industrial de carrocerias automotivas. *São Paulo*, 2006. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 22.

BENTHIEN, A. Sistema de aquisição de dados e supervisão de um misturador industrial. *REPOSITÓRIO DE RELATÓRIOS-Sistemas de Informação*, n. 1, 2014. Citado na página 19.

BOLTON, W. *Programmable logic controllers*. [S.l.]: Newnes, 2015. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 17.

BORGES, F. H.; DALCOL, P. R. Indústrias de processo: comparações e caracterizações. *Anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, v. 22, 2002. Citado na página 18.

- CMCONTROL. *Válvula Esférica 2.1/2" BSP MGA com Atuador Pneumático*. [S.l.], Acesso em 2017. Disponível em: <<http://www.cmcontrol.com.br/loja/produto/valvula-esferica-2-12bsp-mga-com-atuador-pneumatico/>>. Citado na página 19.
- COPADATA. *Interface homem-máquina (HMI)*. [S.l.], 2017. Disponível em: <<https://www.copadata.com/pt/solucoes-hmi-scada/interface-homem-maquina-hmi/>>. Citado na página 24.
- CRUZ, F. S.; FRAJUCA, C. Automatizando a produção da fase líquida do verniz - automation of the varnish liquid phase production. v. 17, p. 312, 10 2016. Citado na página 19.
- FCODER GROUP INTERNATIONAL. Look rs232 - rs 232 (serial port) programming. 2002. Disponível em: <<https://www.lookrs232.com/rs232/>>. Citado na página 25.
- FLATECK. *IHM - INTERFACE HOMEM MÁQUINA*. [S.l.], 2017. Disponível em: <<http://flateck.com.br/servicos/detalhe/ihm-interface-homem-maquina/>>. Citado na página 23.
- FREITAS, C. M. Protocolo modbus: fundamentos e aplicações. 2014. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/protocolo-modbus/>>. Citado na página 26.
- GONÇALVES, D. A. P.; RADTKE, F. N. Proposta de projeto básico de automação para processo batelada de produção de biodiesel. 2011. Citado na página 18.
- GRABCAD. *Mixing, reactor vessel platform*. [S.l.], Acesso em 2017. Disponível em: <<https://grabcad.com/library/mixing-reactor-vessel-platform>>. Citado na página 28.
- GUIRRA, A.; SILVA, E. Automação em sistemas de irrigação. *FAZU, Comunicado Técnico*, v. 8, p. 1-7, 2010. Citado na página 18.
- HBM. *Como uma célula de carga trabalha?* [S.l.], 2017. Disponível em: <<https://www.hbm.com/pt/6768/como-uma-celula-de-carga-trabalha/>>. Citado na página 47.
- IMAN, C. How to make simple modbus rtu communication for plc. 2014. Disponível em: <<https://1.bp.blogspot.com/-sQS8V9hEUUsQ/VBeHYsEugRI/AAAAAAAAACyc/8E-1EEQ7whs/s1600/modbus-function-codes.jpg>>. Citado na página 26.
- JATOBÁ, D. M. et al. *Protótipo de um dosador de líquidos automatizado*. Dissertação (B.S. thesis) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2013. Citado na página 19.
- KALATEC AUTOMAÇÃO. *CLP Delta DVP14SS211TR*. [S.l.], Acesso em 2017. Disponível em: <<http://www.kalatec.com.br/dvp14ss211tr/>>. Citado na página 37.
- KALATEC AUTOMAÇÃO. *Linguagens de programação para controladores lógicos programáveis*. [S.l.], Acesso em 2017. Disponível em: <http://www.kalatec.com.br/ihm_delta_dop-b07s515/>. Citado na página 25.
- MAIA, A. A. et al. Automação para tratamento de água por floculação e flotação. *Revista de Controle e Automação*, v. 1, n. 1, 2013. Citado na página 17.
- MARQUES, R. F. Controle de processo em batelada—aplicação ao sistema de mistura veramix. 2009. Citado na página 19.

- MEDIDORES, K. Conceitos básicos de rs-485 e rs-422. Acesso em 2017. Disponível em: <www.kron.com.br/download2.php?id=353>. Citado na página 25.
- MINTCHEL, G. Plan ahead to build the perfect hmi system. *Control Engineering*, Reed Business Information, v. 48, n. 11, p. 35–39, 2001. Citado na página 30.
- MODICON, I. Modicon modbus protocol reference guide. *North Andover, Massachusetts*, p. 28–29, 1996. Citado na página 25.
- NATIONAL INSTRUMENTS. O protocolo modbus em detalhes. 2014. Disponível em: <<http://www.ni.com/white-paper/52134/pt/#top>>. Citado na página 27.
- PAIOTTI, R. Como funciona o protocolo modbus (r0001). Acesso em 2017. Disponível em: <<http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/12089-como-funciona-o-protocolo-modbus-r0001>>. Citado na página 26.
- PAPASIDERIS, K. et al. Environment temperature control using modbus and rs485 communication standards. *Engineering Technology and Industrial Distribution Department Texas A&M University Faculty Advisor: Dr. Joseph Morgan, DE, PE January*, v. 10, 2009. Citado na página 20.
- PETRUZELLA, F. D. *Controladores Lógicos Programáveis*. [S.l.]: AMGH Editora, 2014. Citado na página 23.
- PUPPO, M. S. *Interface homem-máquina para supervisão de um CLP em controle de processos através da WWW*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2002. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 21.
- RIBEIRO, M. A. Automação industrial. *Apostila para curso de treinamento*, 1999. Citado na página 14.
- ROCHA, J. S. da. *O QUE É IHM?* [S.l.], 2015. Disponível em: <<http://www.ajautomacao.com/o-que-e-ihm/>>. Citado na página 24.
- ROSÁRIO, J. M. *Automação industrial*. [S.l.]: Editora Baraúna, 2009. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 21.
- SABER ELÉTRICA. *IHM - APLICAÇÃO COM CLP EM PROJETOS DE AUTOMAÇÃO*. [S.l.], 2017. Disponível em: <<https://www.sabereletrica.com.br/o-que-e-ihm/>>. Citado na página 24.
- SALAZAR, A. O. et al. Automação, controle e supervisão de uma planta industrial utilizando tecnologias em redes industriais. *CEP*, v. 59072, p. 970, 2006. Citado na página 20.
- SANTOS, A. R. dos; BIZARI, J. G. Automação de cozedor na usina de açúcar e álcool. *COGNITIO/PÓS-GRADUAÇÃO UNILINS*, n. 1, 2013. Citado na página 16.
- SENAI. *Linguagens de programação para controladores lógicos programáveis*. [S.l.], 2011. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/JuremirAlmeida/linguagens-de-programao-para-controladores-lgicos-programveis-copia-copia>>. Citado na página 22.

SHAPE SOLUTIONS. *IHM eXP20-TTA/DC de 4.3 polegadas (10.9cm)*. [S.l.], Acesso em 2017. Disponível em: <http://www.shapesolutions.com.br/loja/produto_descricao.php?id_produto=292>. Citado na página 17.

SILVA, B. R. d.; SOARES, J. W. M.; ROSA, V. E. C. d. L. *Aplicação de um método de programação de CLP com base no diagrama SFC para automação de unidades geradoras hidrelétricas*. Dissertação (B.S. thesis) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2012. Citado na página 16.

SILVEIRA, C. B. Sistemas de dosagem industrial: O que são e como funcionam? 2017. Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/sistema-dosagem-quimica-industrial-automacao-software/>>. Citado na página 28.

SILVEIRA, L.; LIMA, W. Q. Um breve histórico conceitual da automação industrial e redes para automação industrial. *Redes para Automação Industrial*. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2003. Citado na página 21.

SILVESTRE, R. P. Implementação em ladder de sistemas de automação descritos por redes de petri interpretadas para controle. *Universidade Federal do Rio de Janeiro*, 2010. Citado na página 23.

SOUZA, V. A. O protocolo modbus. *Cerne Conhecimento para o Desenvolvimento*, [Online]. [Acedido em 22 Julho 2014], 2009. Disponível em: <<http://www.cerne-tec.com.br/Modbus.pdf>>. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 51.

TERGOLINA, P. R. L. Rede industrial fieldbus modbus. 2015. Disponível em: <http://www.feng.pucrs.br/professores/tergolina/Redes_e_Protocolos_Industriais/APRESENTACAO_-_Aula_09_Modbus.pdf>. Citado na página 25.

TOLEDO DO BRASIL. Conceitos básicos de rs-485 e rs-422. Maio 2017. Disponível em: <<https://www.toledobrasil.com.br/app/webroot/img/upload/peso-padrao-2.gif>>. Citado na página 47.

URZÊDA, C. C. d. Software scada como plataforma para a racionalização inteligente de energia elétrica em automação predial. 2010. Citado na página 24.

VALVERDE-ELIZONDO, J. C. Modelo de control automático para la regulación de demanda eléctrica en sistemas residenciales, comerciales e industriales. Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2016. Citado na página 38.