

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA MECATRÔNICA

MATHEUS GUILHERME ZAMBONI

IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA SCADA EM UMA USINA DE PRODUÇÃO DE
BIOETANOL A BASE DE MILHO

Joinville

2021

MATHEUS GUILHERME ZAMBONI

IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA SCADA EM UMA USINA DE PRODUÇÃO DE
BIOETANOL A BASE DE MILHO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecatrônica no curso de Engenharia Mecatrônica, da Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville.

Orientador: Dra. Tatiana Renata Garcia

Joinville

2021

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Jorge e Cinira, e a minha segunda mãe, Adriane, pelo apoio incondicional dado ao longo de toda a graduação, sempre me motivando e me dando a coragem necessária para enfrentar todos desafios.

A toda minha família por me dar todo o suporte e motivação de que precisei para nunca desistir.

A minha namorada Amanda, por estar sempre ao meu lado, apoiando todas as minhas decisões e me dando todo amparo de que precisei nos momentos difíceis, sempre me inspirando a buscar ser o meu melhor.

A minha orientadora Tatiana Garcia pela sua contribuição para realização deste trabalho, me aconselhando e dando todo o suporte do qual precisei para chegar até o fim.

Aos meus amigos, dentro e fora da UFSC, por todos os momentos de descontração, troca de conhecimento e companheirismo ao longo de todos esses anos.

A WEG e todos os meus colegas pela oportunidade de poder participar deste projeto, pelos conhecimentos compartilhados e pela experiência adquirida ao longo deste período, sendo fundamental para meu crescimento profissional e pessoal.

RESUMO

Nas últimas décadas, o aumento da produção de milho ocasionou dificuldades logísticas relacionadas ao seu transporte e armazenamento, resultando na busca por meios alternativos de uso do cereal. Como solução o milho foi introduzido como matéria prima em usinas de produção de etanol. Com a perspectiva do crescimento da produção de bioetanol a base milho, se torna cada vez mais necessário os avanços no uso de tecnologias de automação e controle de processo, visando o aumento da eficiência na produção e da qualidade do produto final. Dentre os componentes que integram o sistema de automação está o sistema de supervisão e aquisição de dados (SCADA), o qual atua como a principal ferramenta de auxílio a operação dos processos produtivos. Tendo em vista este cenário, o presente trabalho objetiva a implementação de um sistema supervisorio seguindo as diretrizes de desenvolvimento de Interfaces Homem-Máquina (IHM) de alto desempenho e propondo uma metodologia que visa estabelecer os recursos e padrões a serem utilizados no projeto. Os recursos abordados têm por finalidade viabilizar e agregar funcionalidades ao sistema de supervisão por meio de ferramentas que possibilitam monitorar e atuar nos dispositivos abrangidos no sistema de automação. Dentre as principais ferramentas implementadas estão o sumário e o histórico de alarmes e eventos, os objetos globais e as pop-ups de operação. Devido ao grande volume de equipamentos utilizados na automação da usina, os objetos globais e as pop-ups foram desenvolvidos com a finalidade de apresentar um conjunto padrão de informações para cada uma das categorias de dispositivos existentes no projeto, o que permite que estes possam ser facilmente adaptados e reutilizados. Através da etapa de validação do sistema supervisorio, a metodologia empregada se mostrou adequada, resultando em um sistema robusto, confiável e seguro à operação.

Palavras-chave: Automação Industrial. Sistema de Supervisão e Aquisição de Dados. IHM de Alto Desempenho.

ABSTRACT

In the last decades, the increase in corn production has caused logistical difficulties related to its transport and storage, leading to the search for alternative ways of using the grain. As a solution, corn was introduced as a raw material in ethanol production plants. With the perspective of increasing the production of corn-based bioethanol, advances in the use of automation and process control technologies are becoming increasingly necessary, aiming at optimizing the production efficiency and the quality of the final product. Among the components that integrate the automation system is the Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA), which acts as the main tool to assist the operation of production processes. In view of this scenario, the present work aims to implement a supervisory system following the guidelines for the development of high-performance Human-Machine Interfaces (HMI) and proposing a methodology that aims to establish the resources and standards to be used in this project. The resources addressed are intended to enable and add functionality to the supervision system through tools that make it possible to monitor and control the devices covered in the automation system. Among the main tools implemented are the summary and history of alarms and events, global objects and operation pop-ups. Due to the large volume of equipment used in the plant automation, global objects and pop-ups were developed with the purpose of presenting a standard set of information for each of the device categories existing in the project, which allows them to be easily adapted and reused. Through the validation step of the supervisory system, the methodology proved to be adequate, resulting in a robust, reliable and safe system for operation.

Keywords: Industrial Automation. Supervisory Control and Data Acquisition. High-Performance Human-Machine Interfaces.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Etapas dos processos de moagem a seco e moagem úmida na produção de bioetanol de milho.....	18
Figura 2 - Estrutura da pirâmide de automação tradicional.....	20
Figura 3 - Quadro de controle por relés.....	21
Figura 4 - Painel de controlador lógico programável.....	22
Figura 5 - Estrutura interna de um CLP.....	23
Figura 6 - Modelo básico de comunicação.....	26
Figura 7 - Ciclo de processamento de um CLP.....	28
Figura 8 - Principais elementos dos diagramas de lógica ladder.....	30
Figura 9 - Ilustração de diferentes caminhos energizados para acionamento de uma bobina.....	30
Figura 10 - Ilustração de um bloco de função.....	31
Figura 11 - Sistema SCADA simplificado.....	32
Figura 12 – Tela de supervisão baseada em diagrama de tubulação e instrumentação.....	35
Figura 13 – Tela de supervisão com representação analógica de informações.....	36
Figura 14 - Estrutura do protocolo Modbus RTU.....	39
Figura 15 - Arquitetura de Rede da Usina.....	42
Figura 16 - Seleção do Tipo de Aplicação no FactoryTalk View Studio.....	44
Figura 17 - Sistema distribuído utilizando componentes da plataforma FactoryTalk View....	45
Figura 18 - Arquitetura de um projeto de sistema SCADA.....	46
Figura 19 - Configuração de telas do servidor de IHM.....	48
Figura 20 - Janela de configuração dos recursos de animação.....	50
Figura 21 - Estrutura do Servidor de IHM.....	53
Figura 22 - Propriedades do servidor IHM.....	53
Figura 23 - Configuração de prioridades e histórico no servidor de alarmes e eventos.....	55
Figura 24 - Configuração de alarmes e eventos.....	56
Figura 25 - Propriedades de alarmes e eventos.....	57
Figura 26 - Configuração do servidor de comunicação de dados.....	58
Figura 27 - Tela de supervisão com desenho estrutural.....	60
Figura 28 - Tela de supervisão com objetos e indicadores.....	60
Figura 29 - Estrutura física do processo supervisionado.....	61
Figura 30 - Exemplo de objeto global de uma bomba.....	63
Figura 31 - Exemplo de objeto global de um sinal analógico.....	63

Figura 32 - Exemplo de objeto global de um sinal digital	64
Figura 33 - Aba de operação de um acionamento por inversor de frequência	65
Figura 34 - Aba de alarmes de um acionamento por inversor de frequência	66
Figura 35 - Aba de configuração de acionamento por inversor de frequência.....	66
Figura 36 - Filtros no sumário de alarmes e eventos	68
Figura 37 - Ordenação no sumário de alarmes e eventos.....	69
Figura 38 - Estados de alarmes e eventos	70
Figura 39 - Filtro do histórico de alarmes e eventos.....	71
Figura 40 - Filtros de área para o histórico de alarmes e eventos.....	71
Figura 41 - Visão geral da tela de supervisão do processo do secador 1	74
Figura 42 - Menu geral do supervisório	75
Figura 43 - Sumário de alarmes com filtro aplicado para a área de secagem	75
Figura 44 - Menu de navegação com indicação de alarmes.....	76
Figura 45 - Visão geral do processo do secador 1	77
Figura 46 - Pop-up para monitoramento e operação do motor CS9660	79
Figura 47 - Pop-up do transmissor de temperatura TT9652	80

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Características das linguagens de CLP especificados pelo padrão IEC 61131-3. .	29
Quadro 2 - Descrição dos símbolos de indicação dos objetos globais	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais funções do protocolo Modbus.	39
---------------------------------------------------------	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASCII – American Standard Code for Information Interchange

CA – Corrente Alternada

CC – Corrente Contínua

CCM – Centro de Comando de Motores

CLP – Controlador Lógico Programável

CNC – Comando Numérico Computadorizado

COI – Centro Operacional Integrado

CPU – Central Processing Unit

CRC – Cyclic Redundancy Check

DDG – Distilled Dried Grains

DP – Decentralized Peripherals

E/S – Entrada e Saída

FBD – Function Blocks Diagram

IEC – International Electrotechnical Commission

IHM – Interface Homem Máquina

IL – Instruction List

IP – Internet Protocol

ISA – International Society of Automation

Kbps – Kilobits por segundo

LD – Ladder Diagram

MBP – Manchester encoded Bus Powered

Mbps – Megabits por segundos

PA – Process Automation

RTU – Remote Terminal Unit

SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition

SDCD – Sistema Digital de Controle Distribuído

SFC – Sequential Function Chart

ST – Structured Text

TCP – Transmission Control Protocol

UTR – Unidade Terminal Remota

VBA – Visual Basic for Applications

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 OBJETIVOS	15
1.1.1 Objetivo Geral	15
1.1.2 Objetivos Específicos	15
1.2 ESTRUTURA DO TEXTO.....	16
2 REVISÃO TEÓRICA	17
2.1. PRODUÇÃO DE ETANOL A PARTIR DO MILHO.....	17
2.2. AUTOMAÇÃO.....	19
2.3 CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMÁVEIS	21
2.3.1 Componentes de CLPs	23
2.3.1.1 Unidade Central de Processamento	24
2.3.1.2 Fonte de Alimentação	24
2.3.1.3 Unidade de Memória	24
2.3.1.4 Módulos de Entrada e de Saída	25
2.3.1.5 Interfaces de Comunicação	25
2.3.1.6 Dispositivo de Programação	26
2.3.2 Ciclo de Processamento	27
2.3.3 Programação de CLPs	28
2.3.3.1 Diagrama de lógica ladder	29
2.3.3.2 Diagrama de blocos de funções.....	31
2.4 SISTEMAS DE SUPERVISÃO E AQUISIÇÃO DE DADOS	31
2.4.1 Comunicação por consulta (<i>Polling</i>)	33
2.4.2 Comunicação por interrupção (<i>Report by Exception</i>)	34
2.4.3 INTERFACE HOMEM-MÁQUINA	34
2.4.4 IHM de Alto Desempenho Visual	35
2.5 REDES INDUSTRIAIS	37
2.5.1 Protocolo Modbus	37
2.5.1.1 Modbus RTU.....	38
2.5.1.2 Modbus TCP	40
3 METODOLOGIA	41
3.1 ESPECIFICAÇÕES DO SISTEMA DE AUTOMAÇÃO	41
3.1.1 Arquitetura de Rede	41

3.1.2 Plataformas de Desenvolvimento do Software Aplicativo	43
3.1.3 Padrão Visual do Sistema SCADA	43
3.2 ETAPAS DE IMPLEMENTAÇÃO.....	43
3.2.1 Configuração das Plataformas de Desenvolvimento	44
3.2.1.1 Seleção do tipo de aplicação no FactoryTalk View Studio	44
3.2.1.2 Arquitetura do sistema FactoryTalk View	45
3.2.1.3 Configuração dos componentes do sistema FactoryTalk View	47
3.2.2 Configuração das Telas de Operação do Sistema SCADA	48
3.2.3 Recursos de Supervisão e Operação do Sistema SCADA	49
3.2.3.1 Objetos globais.....	49
3.2.3.2 Sumário de alarmes e eventos.....	51
4 IMPLEMENTAÇÃO DO PROJETO	52
4.1 ESTRUTURAÇÃO DA ARQUITETURA DO PROJETO	52
4.1.1 Servidor de IHM	52
4.1.2 Servidor de Alarmes e Eventos	54
4.1.3 Servidor de Comunicação de Dados	57
4.3 ELABORAÇÃO DO LAYOUT DAS TELAS DE SUPERVISÃO.....	58
4.3.1 Menu Geral das Telas de Supervisão.....	59
4.3.2 Menu de Navegação das Telas de Supervisão	59
4.3.3 Telas de Visualização do Processo	59
4.4 IMPLEMENTAÇÃO DOS OBJETOS GLOBAIS	61
4.5 IMPLEMENTAÇÃO DE POP-UPS.....	64
4.6 CONFIGURAÇÃO DO SUMÁRIO E HISTÓRICO DE ALARMES E EVENTOS.....	67
4.6.1 Sumário de Alarmes e Eventos	67
4.6.2 Histórico de Alarmes e Eventos	70
5 RESULTADOS	73
5.1 VISÃO GERAL DE UM PROCESSO NO SISTEMA SCADA	73
5.1.1 Menu Geral.....	75
5.1.2 Menu de Navegação.....	76
5.1.3 Visão Geral do Processo	76
5.1.3.1 Aspectos estruturais.....	78
5.1.3.2 Aspectos funcionais.....	78
5.2 VALIDAÇÃO DO SISTEMA SCADA.....	80
5.3 ANÁLISE DA METODOLOGIA DE IMPLEMENTAÇÃO ADOTADA.....	81

5.3.1 Vantagens da Metodologia de Implementação.....	81
5.3.2 Desvantagens da Metodologia de Implementação.....	82
6 CONCLUSÃO.....	83
REFERÊNCIAS.....	84
ANEXO A - DIAGRAMA UNIFILAR COM CONFIGURAÇÃO DO CLP.....	87
ANEXO B - DIAGRAMA UNIFILAR COM CONFIGURAÇÃO DE REDE	88
ANEXO C - DIAGRAMA UNIFILAR COM DISTRIBUIÇÃO DE E/S.....	89

1 INTRODUÇÃO

Desde o início da década de 2000, a produção de milho cresceu ininterruptamente na região Centro-Oeste do Brasil, superando amplamente o consumo regional e acarretando em dificuldades para o armazenamento e transporte do milho produzido. Como solução buscaram-se alternativas para agregação de valor ao produto, deste modo, ao invés de vender o milho a um preço reduzido, o cereal foi introduzido como matéria prima para usinas de etanol a partir de 2011 (DONKE et al., 2016).

As primeiras usinas brasileiras a utilizarem o milho como matéria-prima puderam evidenciar as vantagens de seu uso quando comparado à cana-de-açúcar, como a possibilidade de armazenamento por um maior período de tempo, facilitando o transporte e possibilitando o cultivo em áreas mais distante, além de fornecer coprodutos comercializáveis, como o óleo de milho e os grãos secos destilados, ou DDG, do inglês Dried Distillers Grains, utilizado na fabricação de ração animal. Outro aspecto crucial vem do surgimento da usina flex, que minimiza a ociosidade na operação ao possibilitar a produção do etanol a partir do milho durante a entressafra da cana-de-açúcar (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB, 2018).

A CONAB (2019) estima a produção total de etanol, proveniente do milho e da cana-de-açúcar, em 35,5 bilhões de litros para a safra de 2019/2020, o que representa um aumento de 7,2% em relação à safra anterior. A projeção para o etanol de milho é compor 4,76%, ou 1,69 bilhões de litros, do total da produção estimada, representando um acréscimo de 114% em relação ao exercício anterior. Em 2028 é estimada uma produção de oito bilhões de litros de biocombustível do cereal, representando até 20% da produção total de etanol no Brasil (UNIÃO NACIONAL DA BIOENERGIA – UDOP, 2019).

Considerando as perspectivas de crescimento da produção e demanda de etanol no Brasil e no mundo, é fundamental um maior desenvolvimento e implantação de novas tecnologias nas usinas, aliadas com a automação e controle de processo (ATALA, 2004).

De acordo com Farinas, Martin Neto e Giordano (2010), a implementação de sistemas de controle e automação em usinas de etanol tem como principais vantagens o aumento da eficiência do processo tanto do ponto de vista econômico, quanto energético e ambiental, além de maior controle na qualidade e reprodutibilidade.

A automação de uma planta industrial é alcançada por meio da introdução de sensores e atuadores, comandados por sistemas remotos. A medição realizada pelos sensores

e a ação tomada pelos atuadores são controladas por sinais que comunicam a planta a um sistema supervisorio. Com a automatização adequada de uma planta, considerando aquisição de variáveis do processo em tempo real e estratégias de controle bem definidas, é possível beneficiar tanto o produtor, pela redução de custos e reprocessamentos, como o consumidor final, que dispõe de um produto com maior qualidade (ATALA, 2004).

Dentro deste contexto, o presente trabalho terá por objetivo realizar um estudo sobre as etapas do processo de produção do etanol a base de milho, descrever os principais componentes utilizados na automação de uma usina e elaborar um sistema de supervisão utilizando metodologias aplicadas a Interfaces Homem-Máquina (IHM) de alto desempenho operacional.

1.1 OBJETIVOS

Os seguintes objetivos foram definidos para a realização deste trabalho.

1.1.1 Objetivo Geral

Implementar um sistema de supervisão aplicado a uma usina de produção de etanol a base de milho utilizando a metodologia aplicada a IHMs de alto desempenho.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Conhecer as etapas do processo de produção de etanol a base de milho;
- Enunciar os diversos componentes que fazem parte de um projeto de automação;
- Descrever as diretrizes de desenvolvimento aplicadas a IHMs de alto desempenho operacional;
- Propor uma metodologia para a implementação do sistema supervisorio;
- Validar o sistema de supervisão implementado.

1.2 ESTRUTURA DO TEXTO

Este trabalho tem por objetivo realizar a implementação de um sistema SCADA aplicado a uma usina de produção de etanol a base de milho utilizando diretrizes da metodologia de desenvolvimento de IHMs de alto desempenho. No capítulo 2 será apresentada a concepção teórica que sustentará a proposição e condução desta implementação. Ao longo do capítulo 3 será abordada a metodologia utilizada para construção do sistema supervisorio, no qual são abordadas as especificações do sistema de automação e as etapas de implementação, que incluem as configurações necessárias que garantem o funcionamento do sistema SCADA e os recursos que serão disponibilizados como ferramentas de supervisão e controle. Por sua vez, no capítulo 4 serão discutidas as etapas de implementação do sistema seguindo as diretrizes propostas no capítulo 3. Ao longo do capítulo 5 serão apresentados os resultados adquiridos da implementação do sistema, no qual serão discutidas suas principais características, vantagens e desvantagens. Por fim, no capítulo 6 serão feitas as considerações finais com base nos objetivos propostos neste trabalho e será dada uma sugestão de trabalho futuro.

2 REVISÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão apresentados os principais conceitos que sustentarão o projeto de automação de uma usina de etanol a partir do milho. Desta forma, é necessário conhecer as etapas que compõem o processo de produção do etanol e suas características intrínsecas. Também é preciso ter conhecimento sobre as ferramentas utilizadas na implementação da automação, como CLPs, redes de comunicação e sistemas supervisórios.

2.1. PRODUÇÃO DE ETANOL A PARTIR DO MILHO

A produção de etanol a partir do milho consiste, de modo geral, em quebrar o amido presente no cereal em açúcares simples para serem utilizados no processo de fermentação. Após a fermentação, é feita a recuperação do produto final, o etanol, e também subprodutos como a ração animal. Dentre os principais métodos empregados na produção de etanol de milho estão a moagem a seco e a moagem úmida (MOSIER; ILELEJI, 2014).

De acordo com Mosier e Ileleji (2014), no método de moagem a seco, o grão de milho é triturado por completo e os componentes residuais são separados ao final do processo. As principais etapas da moagem a seco incluem a moagem, liquefação, sacarificação, fermentação, destilação e recuperação.

Os grãos de milho de alta qualidade, processados pelo método de moagem a seco, geram resíduos que também são conhecidos como DDG, estes podem ser utilizados como ração para animais. No caso de grãos de milho de menor qualidade, os resíduos são utilizados em processos de combustão para geração de energia (KÜÜT et al., 2019).

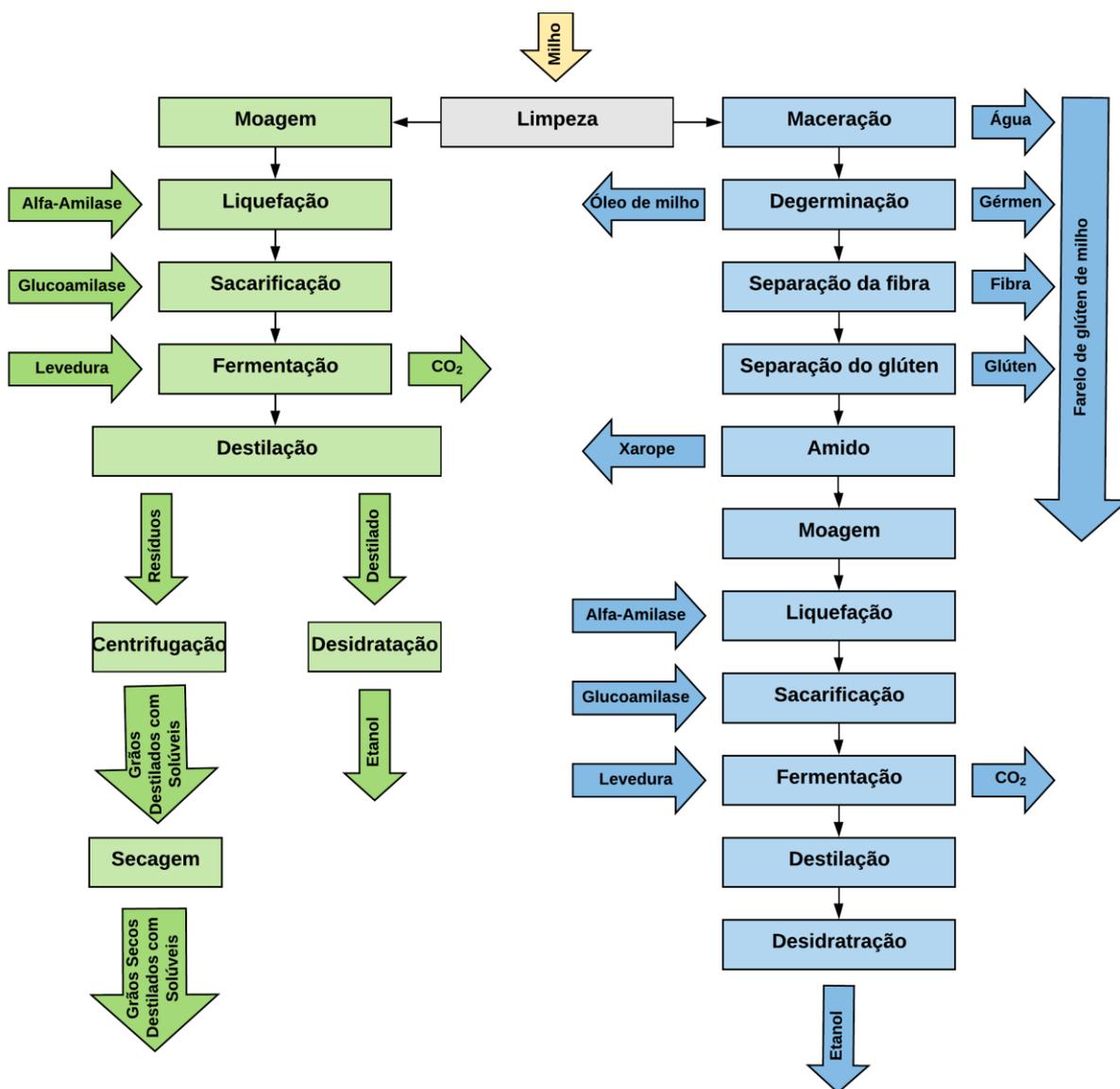
O método de moagem úmida é bem similar ao método de moagem a seco, porém a principal diferença se encontra na primeira etapa que, no caso da moagem úmida, consiste em embeber o grão de milho em água com o objetivo de amolecer o cereal e facilitar a separação de seus componentes por meio do processo de maceração (MOSIER; ILELEJI, 2014).

Dentre os subprodutos obtidos pelo processo de moagem úmida estão o gérmen, as fibras e o glúten de milho, que podem ser utilizados como ração para animais, além do óleo de milho para cozinha (KÜÜT et al., 2019).

Na Figura 1 são mostradas as etapas que compõe os processos de moagem a seco e de moagem úmida na produção do bioetanol de milho. Por meio do fluxograma é possível

observar a sequência de etapas de cada processo, os elementos adicionados a determinadas etapas e os subprodutos gerados ao longo do processo. À esquerda, em verde, está representado o processo de moagem a seco e à direita, em azul, está representado o processo de moagem úmida.

Figura 1 - Etapas dos processos de moagem a seco e moagem úmida na produção de bioetanol de milho.



Fonte: Adaptado de KÜÜT et al (2019)

Atualmente, o processo mais utilizado nas usinas de produção de etanol de milho é a moagem a seco. O principal motivo se dá pelo baixo investimento necessário para a construção e a operação destas usinas. A preferência pelo método de moagem a seco aumenta

ainda mais com a perspectiva de novas tecnologias que buscam otimizar as etapas de produção e de automação do processo (HÖFER, 2015).

2.2. AUTOMAÇÃO

A automação é um conceito que foi instituído nos Estados Unidos, em 1946, dentro da indústria automotiva. Na atualidade, a automação é um termo utilizado para denominar qualquer sistema que substitua o trabalho humano e que utilize a computação, tendo por objetivo aumentar a velocidade e a qualidade dos processos produtivos, a segurança dos funcionários, além de fornecer maior controle, planejamento e flexibilidade sobre a produção (GOEKING, 2010).

Segundo Sharma (2016), um sistema de automação de processos é um arranjo composto pelo monitoramento e controle autônomos de um processo industrial, objetivando a obtenção de um determinado resultado sem a necessidade de intervenções manuais. Um sistema de automação típico executa as suas etapas de forma sequencial, cíclica e contínua, atuando por meio de controladores sobre as operações de modo a garantir resultados corretos e consistentes.

Com a automação sendo aplicada em ambientes industriais cada vez mais complexos, surge a necessidade de uma visão estruturada e organizada destes sistemas automatizados, de forma a auxiliar na sua análise, desenvolvimento, instalação, operação e manutenção. Desse modo, é utilizada uma estruturação hierárquica dos elementos envolvidos no sistema de automação para permitir uma melhor visualização, organização e entendimento do sistema. Esta arquitetura é conhecida como a pirâmide de automação (YAMAGUCHI, 2006).

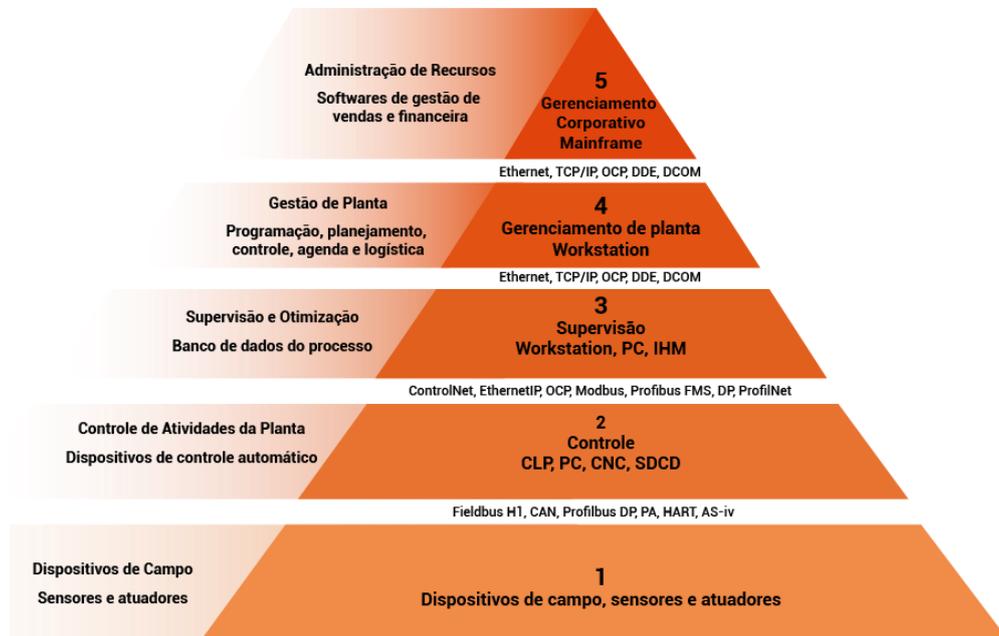
Conforme descrito por Yamaguchi (2006), o modelo da pirâmide de automação é estruturado em níveis, no qual cada nível hierárquico possui um escopo de controle com responsabilidades específicas. As redes de comunicação são responsáveis pela troca de dados, podendo ocorrer entre equipamentos e sistemas de cada nível (comunicação horizontal), ou entre níveis adjacentes (comunicação vertical).

A pirâmide de automação é composta na sua estrutura tradicional por cinco níveis, sendo estes (COPE, 2018; MORAES; CASTRUCCI, 2010; YAMAGUCHI, 2006):

- Nível 1: Composto por dispositivos de campo, como sensores e atuadores, sendo localizado na base da pirâmide;

- Nível 2: Também definido como nível de controle, pode ser composto por CLPs, SDCDs (Sistema Digital de Controle Distribuído), CNCs (Comando Numérico Computadorizado) e controladores de processo. É responsável por realizar o controle automatizado das atividades da planta;
- Nível 3: Os sistemas de supervisão e aquisição de dados, ou SCADA (do inglês Supervisory Control and Data Acquisition) como são chamados, se encontram neste nível e são responsáveis por monitorar e controlar múltiplos sistemas a partir de um único local;
- Nível 4: Nível no qual é realizado o controle e a logística dos suprimentos por meio da programação e planejamento da produção;
- Nível 5: O último nível é responsável pela administração dos recursos da empresa. Neste nível se encontram os softwares tanto para a gestão de vendas, quanto para a gestão financeira e é, também, o nível no qual são tomadas as decisões e realizado o gerenciamento de todo o sistema.

Figura 2 - Estrutura da pirâmide de automação tradicional.



Fonte: Instrumentação e Controle (2020).

Por meio da Figura 2 é possível observar como são distribuídos os cinco níveis da pirâmide de automação, quais são seus principais elementos e atribuições, além dos protocolos de comunicação mais utilizados para comunicação entre dispositivos de um

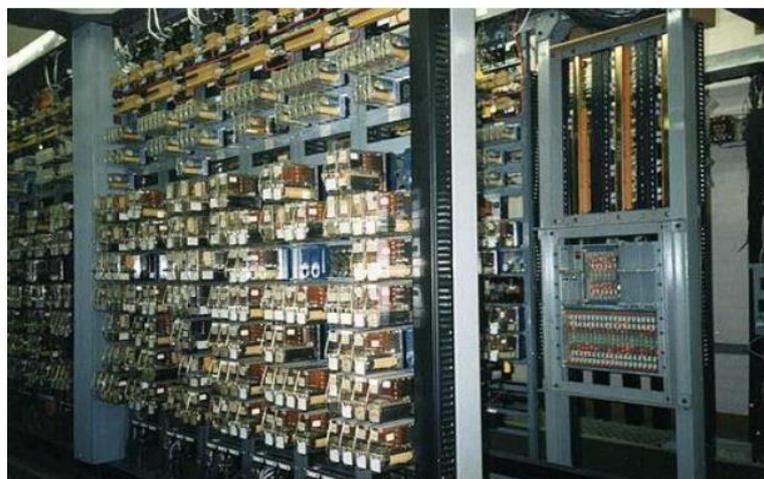
mesmo nível e de níveis adjacentes. A representação da pirâmide de automação é baseada no padrão ISA-95, definido pela Sociedade Internacional de Automação (International Society of Automation, ISA) que tem por objetivo definir as diretrizes de desenvolvimento de uma interface automatiza entre sistemas corporativos e de controle (INTERNATIONAL SOCIETY OF AUTOMATION, 2020).

2.3 CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMÁVEIS

Anterior ao surgimento dos CLPs, o controle de maquinário industrial era realizado por meio de dispositivos eletromecânicos denominados relés. Estes mecanismos operam por meio de uma bobina, que quando energizada gera um campo magnético responsável por alterar a posição do interruptor, definindo seu modo de condução. Para a automatização de um processo eram utilizados dois tipos de relés, os de potência e os de controle. Os relés de potência atuavam diretamente sobre o equipamento, fornecendo energia sua operação, já os relés de controle eram responsáveis por controlar o modo de condução dos relés de potência (AUTOMATIONDIRECT, 2020).

Para realizar a automação industrial, eram utilizados cabines e painéis de controle com centenas de relés, o que representava um grande desafio devido à grande interconectividade destes dispositivos e o elevado consumo de energia. Havia também muitos problemas estruturais causados pelo cabeamento e a vida útil destes dispositivos, além da elevada complexidade de programação das máquinas e dificuldade de manutenção do sistema (SILVEIRA; LIMA, 2003).

Figura 3 - Quadro de controle por relés.



Fonte: Automationdirect (2020).

Pela Figura 3 é possível evidenciar alguns dos desafios impostos pelos sistemas de controle por relés, como o elevado número de dispositivos, a complexidade do sistema e o grande espaço ocupado.

Em 1968 a Divisão Hidráulica da General Motors Corporation desenvolveu um conjunto de especificações para o projeto de CLPs. O objetivo foi eliminar os elevados custos associados aos sistemas controlados por relés. Dentre os principais requisitos especificados estavam a capacidade de operar em ambiente industrial, possuir baixa complexidade de programação e manutenção para engenheiros e técnicos responsáveis, além de ser reutilizável. Estas características permitiriam a expansibilidade do sistema e reduziram o tempo de parada do maquinário (BRYAN; BRYAN, 1997).

Os primeiros controladores programáveis serviram apenas como substitutos para os sistemas de controle por relés, tendo como função primária a execução de operações sequenciais previamente implementadas por meio destes dispositivos. Contudo, os CLPs eram facilmente instalados, utilizavam menos espaço e consumiam menos energia, também ofereciam indicadores que auxiliavam na sua manutenção e podiam ser reutilizados em outros projetos (BRYAN; BRYAN, 1997).

Figura 4 - Painel de controlador lógico programável.



Fonte: CSB Automação Industrial (2020)

A Figura 4 apresenta um painel de um sistema composto por um controlador lógico programável e é possível verificar a redução no número de componentes presentes no sistema, quando comparado a um sistema de relés, resultando na redução da complexidade de manutenção e expansão do mesmo, além do menor consumo de energia.

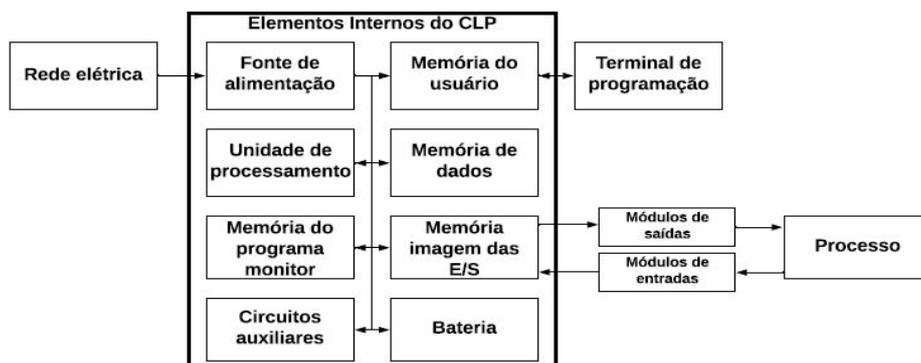
Com o passar dos anos os CLPs receberam melhorias que incluíam melhores interfaces de operação, capacidade de realizar operações aritméticas, manipulação de dados, comunicação com computadores, aumento da memória, controle analógico e de posicionamento, além de possibilitar o uso de E/S (Entrada e Saída) remota (GROOVER, 2011).

Atualmente os controladores lógicos programáveis são sistemas de controle consolidados, capazes de se comunicarem com outros sistemas de controle, de fornecerem relatórios de produção, escalonar a produção e diagnosticar falhas próprias ou de máquinas e processos. Tais características tornaram os CLPs importantes contribuintes no atendimento às demandas por maior qualidade e produtividade na indústria nos dias atuais. Apesar de todos os avanços, os controladores programáveis continuam mantendo a simplicidade e facilidade de operação originalmente desejadas (GROOVER, 2011).

2.3.1 Componentes de CLPs

Um CLP é tipicamente composto por alguns componentes básicos, sendo eles a unidade de processamento, a fonte de alimentação, a unidade de memória, os módulos de entrada e saída, as interfaces de comunicação e o dispositivo de programação (MEHTA; REDDY, 2015).

Figura 5 - Estrutura interna de um CLP



Fonte: Adaptado de ROGGIA e FUENTES (2016)

Pela Figura 5 é possível observar os componentes que compõem a estrutura interna de um CLP. Também são mostrados os elementos externos que interagem diretamente com o CLP, como a rede elétrica, o terminal de programação e os módulos de entrada e de saída.

2.3.1.1 Unidade Central de Processamento

De acordo com Mehta e Reddy (2015), a unidade central de processamento, conhecida por CPU (Central Processing Unit), é composta por um microprocessador que interpreta os sinais de entrada e toma as decisões de controle conforme o programa armazenado em sua memória. O resultado do processamento é enviado na forma de sinal para os terminais de saída.

2.3.1.2 Fonte de Alimentação

A fonte de alimentação é responsável por realizar a conversão da corrente alternada (CA), proveniente da rede de distribuição, em corrente contínua (CC) de baixa tensão para alimentar o controlador. As fontes possuem uma bateria que é acionada no caso de falha externa de energia e impedem a perda do programa do usuário (MORAES; CASTRUCCI, 2010).

2.3.1.3 Unidade de Memória

A unidade de memória é conectada a CPU e pode ser classificada, de modo geral, em memória do usuário, memória de dados, memória-imagem das E/S e memória do sistema operacional (memória do programa monitor) (GROOVER, 2011).

Na unidade de memória do usuário são armazenados os programas de lógica, o sequenciamento e as operações de entrada e saída. A memória-imagem das E/S é o local no qual são armazenados os bits de estado de entrada e saída. Os valores de outras variáveis e parâmetros e as constantes de contadores e temporizadores são armazenados na memória de dados (GROOVER, 2011; ROGGIA; FUENTES, 2016).

Já a memória do sistema operacional contém o programa monitor, elaborado pelo fabricante do CLP, que inicializa o controlador, direciona a execução do programa de controle e coordena as operações de entrada e saída. Esse tipo de memória não é acessível ao usuário. (MORAES; CASTRUCCI, 2010; GROOVER, 2011).

2.3.1.4 Módulos de Entrada e de Saída

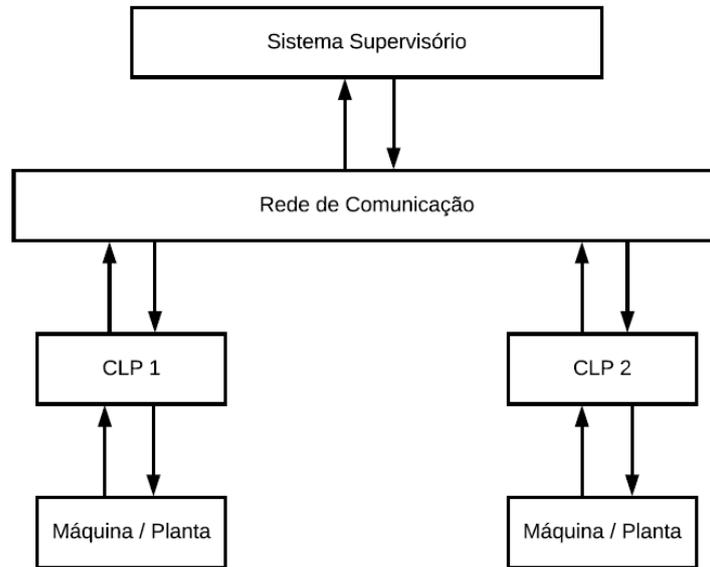
Conforme descrito por Groover (2011), os módulos de entrada e saída oferecem as conexões utilizadas para realizar o controle de equipamentos ou processos industriais. As entradas para o CLP podem ser sinais provenientes de interruptores de pressão ou fim de curso, sensores ou outros dispositivos do tipo ligado/desligado. Os sinais de saída do controlador são do tipo ligado/desligado e são utilizados para atuar sobre motores, válvulas e demais dispositivos utilizados no processo. Muitos CLPs também são capazes de aceitar sinais contínuos originados em sensores analógicos e reproduzir sinais adequados aos atuadores analógicos.

O tamanho de um CLP é medido com base no número de terminais de E/S, no qual um controlador de pequeno porte contém até 255 terminais e um controlador de grande porte pode conter 1024 terminais ou mais (GROOVER, 2011).

2.3.1.5 Interfaces de Comunicação

A interface de comunicação é utilizada para receber e transmitir informações entre CLPs remotos por meio de redes de comunicação, tendo por objetivo permitir a verificação de dispositivos, a aquisição de dados, a sincronização entre aplicações de usuário e o gerenciamento de conexões. As interfaces de comunicação são fundamentais para o funcionamento do sistema de automação por meio de controladores lógicos programáveis e os mais diversos componentes do sistema (MEHTA; REDDY, 2015).

Figura 6 - Modelo básico de comunicação.



Fonte: Adaptado de MEHTA e REDDY (2015)

Na Figura 6 é exemplificado um modelo básico de comunicação, no qual a rede de comunicação permite o fluxo de informações entre um ou mais CLPs, que controlam equipamentos e processos distintos, e o sistema supervisório do conjunto.

2.3.1.6 Dispositivo de Programação

Moraes e Castrucci (2010) descrevem um dispositivo de programação como um periférico utilizado na comunicação entre o usuário e o controlador nas etapas de implementação do software aplicativo, podendo esse ser um computador ou um dispositivo portátil composto de teclado e display. Quando instalado, o terminal de programação permite o autodiagnóstico, alterações online, programação de instruções, monitoramento, além de permitir alterações na memória como gravação e apagamento. O programa do CLP é desenvolvido em dispositivos de programação antes de serem transferidos para a memória do controlador.

Os computadores são os terminais de programação mais comumente utilizados, tendo como principal vantagem o fato de que os programas podem ser armazenados em disco rígido ou CDs e facilmente copiados e/ou distribuídos via rede. O interfaceamento entre computador e CLP requer apenas o uso do software apropriado em alguns casos, em outros

é necessário o uso de cartões de comunicação específicos para habilitar a comunicação (MEHTA; REDDY, 2015).

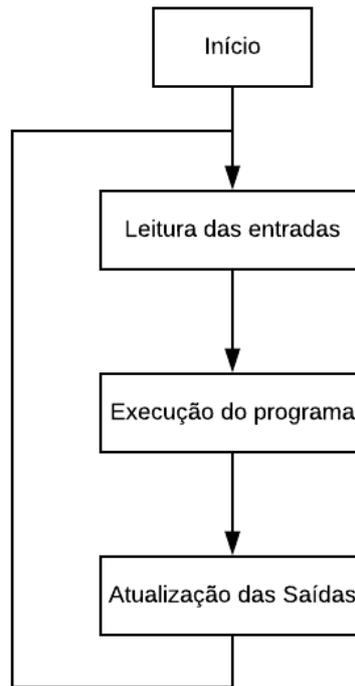
2.3.2 Ciclo de Processamento

O processamento e o controle das informações de entrada e saída do controlador são realizados de maneira sequencial pela CPU, através de ciclos de varredura ou processamento compostos por um conjunto de etapas, conforme descritos a seguir (ROGGIA; FUENTES, 2016):

- **Inicialização:** É feita a inicialização do CLP, no qual são realizadas as verificações do funcionamento da CPU, das memórias, dos circuitos auxiliares e da existência de programa, todas as saídas também são desabilitadas. Essa etapa é executada apenas uma vez no momento em que o CLP é ligado.
- **Leitura das entradas:** O CLP realiza a leitura do estado das entradas e armazena as informações referentes ao estado das saídas.
- **Execução do programa:** Em seguida, o controlador utiliza os dados de entrada para executar as operações contidas no programa do software aplicativo, como funções lógicas, habilitação de contadores e temporizadores, intertravamentos, armazenagem de dados, entre outros.
- **Atualização das saídas:** Na última etapa o CLP atualiza os módulos de saídas conforme os valores calculados na etapa anterior e é iniciado um novo ciclo de processamento.

Na Figura 7 a seguir é possível visualizar as etapas e sequência de processamento realizada pela CPU de um controlador programável.

Figura 7 - Ciclo de processamento de um CLP.



Fonte: Adaptado de ROGGIA e FUENTES (2016)

O tempo de ciclo do processamento depende da complexidade das funções que devem ser executadas, do número de módulos de E/S e da velocidade de *clock* do processador, podendo variar entre 1 e 25 milissegundos (GROOVER, 2011).

2.3.3 Programação de CLPs

Para que o CLP execute o controle correto de um dispositivo ou processo é necessário um programa (software) que informe a sequência de tarefas a serem realizadas. O programa é feito pelo usuário por meio de um dispositivo de programação e gravado na memória do CLP (ROGGIA; FUENTES, 2016).

De acordo com Groover (2011), as instruções de controle mais básicas são as de sequenciamento, contagem, comutação, lógica e temporização. Essas funcionalidades são geralmente oferecidas como conjuntos de instruções por quase todos os métodos de programação de CLPs, contudo, muitas aplicações de controle requerem funções avançadas que não são prontamente realizadas pelo conjunto básico de instruções como, por exemplo, o controle analógico de processos contínuos, programas com lógica de controle complexa, processamento e relatório de dados, entre outros. Essa diferença nos requisitos resultou no desenvolvimento de diversas linguagens de programação para CLPs.

A padronização das diferentes linguagens de programação é responsabilidade da Comissão Eletrotécnica Internacional, ou IEC (*International Electrotechnical Commission*), tendo publicado a norma *IEC 61131-3* que especifica cinco linguagens de programação para CLPs, sendo três linguagens gráficas e três linguagens textuais (GROOVER, 2011).

Quadro 1 - Características das linguagens de CLP especificados pelo padrão IEC 61131-3.

Linguagem	Abreviação	Tipo	Principais aplicações
Diagrama de lógica ladder	LD (Ladder Diagram)	Gráfica	Controle discreto
Diagrama de blocos de funções	FBD (Function Blocks Diagram)	Gráfica	Controle contínuo
Diagrama de funções sequenciais	SFC (Sequential Function Chart)	Gráfica	Sequenciamento
Lista de instruções	IL (Instruction List)	Textual	Controle discreto
Texto estruturado	ST (Structured Text)	Textual	Lógica complexa, cálculos etc.

Fonte: Adaptado de GROOVER (2011)

No Quadro 1 são apresentadas as principais linguagens utilizadas para a programação de CLPs e suas características, conforme especificados pelo padrão IEC 61131-3. Para este projeto, as principais linguagens de programação utilizadas nos CLPs foram o diagrama de lógica ladder e o diagrama de blocos de funções.

2.3.3.1 Diagrama de lógica ladder

De acordo com Moraes e Castrucci (2010), o diagrama de lógica ladder é a linguagem mais utilizada na programação de CLPs, sendo capaz de suportar tanto funções binárias como até funções matemáticas complexas.

O diagrama ladder é estruturalmente composto por duas linhas verticais, denominadas linhas-mãe, e linhas horizontais que estão localizadas entre as linhas-mãe. A programação é realizada por meio de símbolos gráficos que são posicionados nas linhas horizontais e representam as instruções do programa. Dentre as principais instruções do

diagrama ladder estão os contatos, as bobinas, os temporizadores e contadores, podendo incluir também operações algébricas e lógicas (MORAES; CASTRUCCI, 2010; ROGGIA; FUENTES, 2016).

Na Figura 8 a seguir é mostrada a simbologia dos principais elementos utilizados na linguagem ladder. Contatos abertos entram em modo de condução quando o dispositivo a qual estão atrelados possuir nível lógico alto, já os contatos fechados funcionam de modo contrário, conduzindo quando o nível lógico do dispositivo for baixo. As bobinas são elementos de saída que podem ser acionadas se houver um caminho de condução entre os elementos que a precedem.

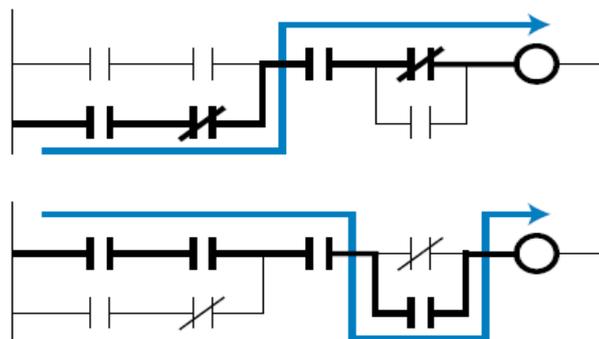
Figura 8 - Principais elementos dos diagramas de lógica ladder.

Tipo	Símbolo
Contato aberto	
Contato fechado	
Saída (bobina)	

Fonte: ROGGIA e FUENTES (2016)

De modo geral, cada uma das linhas horizontais é uma sentença lógica sendo que os contatos são os elementos de entrada e as bobinas são os elementos de saída. As bobinas são posicionadas à direita nas linhas horizontais e seu acionamento depende do estado dos contatos que estão à sua esquerda, devendo haver um caminho energizado entre a linha-mãe esquerda e a bobina (ROGGIA; FUENTES, 2016).

Figura 9 - Ilustração de diferentes caminhos energizados para acionamento de uma bobina.



Fonte: BRYAN e BRYAN (1997).

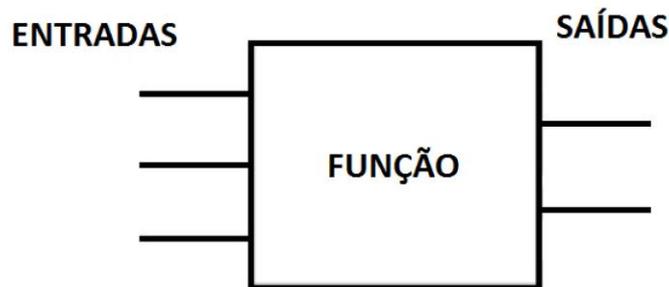
A Figura 9 apresenta duas combinações possíveis de contatos que estão em modo de condução permitindo um caminho de fluxo que realiza o acionamento da bobina. Em negrito está o caminho que se encontra em modo de condução e a seta azul indica a direção do fluxo.

As sequências de causa e efeito na linguagem ladder orientam-se da esquerda para a direita e de cima para baixo (MORAES; CASTRUCCI, 2010).

2.3.3.2 Diagrama de blocos de funções

O diagrama de blocos de funções é uma linguagem de programação gráfica e oferece meios para a inserção de instruções de alto nível compostas por blocos operacionais, no qual cada bloco pode possuir uma ou mais entradas e uma ou mais saídas. No interior do bloco são realizadas operações sobre os sinais de entrada visando à obtenção dos sinais de saída desejados (GROOVER, 2011).

Figura 10 - Ilustração de um bloco de função.



Fonte: Adaptado de MEHTA e REDDY (2015)

A Figura 10 ilustra a estrutura básica de um bloco de função, podendo conter múltiplas entradas que são utilizadas para a execução da função cujo resultado é enviado para uma ou mais saídas.

2.4 SISTEMAS DE SUPERVISÃO E AQUISIÇÃO DE DADOS

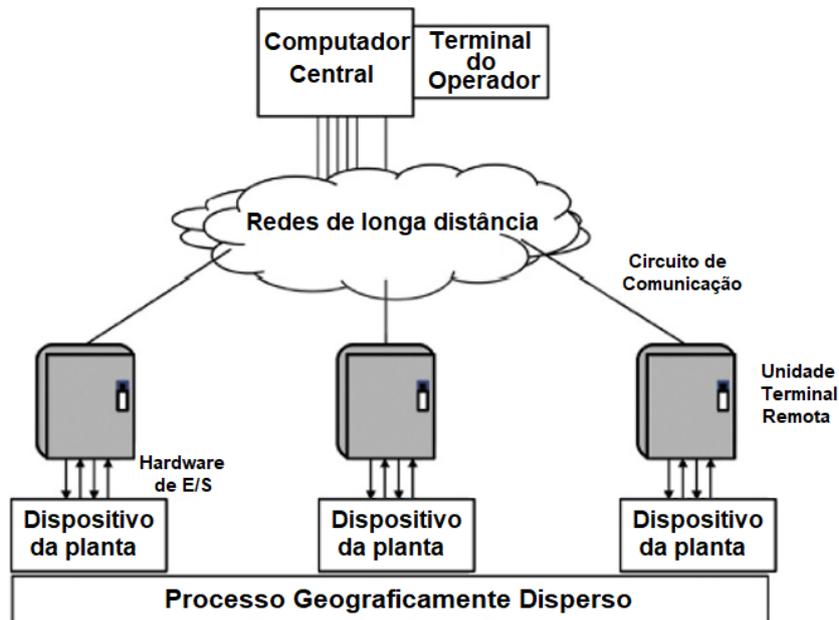
Os sistemas de supervisão e aquisição de dados, também conhecidos como sistemas SCADA, do inglês *Supervisory Control And Data Acquisition*, permitem o gerenciamento e

o monitoramento do processo de controle através da coleta e análise em tempo real de dados do sistema (WILES, 2008).

Sistemas SCADA geralmente apresentam características de redundância tanto de hardware quanto de meio físico (canal de informação) permitindo a pronta identificação de falhas, buscando garantir a integridade física das pessoas, equipamentos e produção (MORAES; CASTRUCCI, 2010).

A principal atribuição de qualquer sistema SCADA está ligada a troca de informações que pode estar na forma de comunicação com CLPs e UTRs (Unidades Terminais Remotas), com outras estações SCADA e/ou com outros sistemas. Um sistema SCADA é tipicamente composto da combinação de quatro subsistemas diferentes, sendo eles o computador central, uma UTR localizada em campo, um sistema de comunicação (telefônico, internet ou intranet) que conecta todos os equipamentos e uma interface que fornece para o usuário um meio de acesso ao sistema (MEHTA; REDDY, 2015).

Figura 11 - Sistema SCADA simplificado.



Fonte: Adaptado de MEHTA e REDDY (2015)

Por meio da Figura 11 é possível observar um modelo simplificado de um sistema SCADA, ao qual um computador central se comunica por meio de uma rede de comunicação com unidades terminais remotas que, por sua vez, controlam equipamentos da planta e estão geograficamente dispersas entre si. O computador central também possui terminais que permitem o acesso do operador ao sistema.

Para Mehta e Reddy (2015) algumas das principais funcionalidades de sistemas SCADA são:

- Aquisição de dados por dispositivos de instrumentação em campo via UTRs;
- Processamento de dados de campo para detecção de alarmes e outras mudanças significativas no processo;
- Apresentar dados de alarmes, tendências e relatórios por meio de uma interface de usuário que seja de fácil compreensão;
- Executar o controle remoto sobre dispositivos em campo;
- Monitorar e diagnosticar o sistema, sendo capaz de executar as ações apropriadas;
- Capacidade de arquivamento de dados recentes e armazenamento de dados a longo prazo.

De acordo com Moraes e Castrucci (2010), os sistemas SCADA utilizam dois modos de comunicação, sendo elas a comunicação por consulta, do inglês *polling*, e a comunicação por interrupção, conhecida em inglês como *report by exception*.

2.4.1 Comunicação por consulta (*Polling*)

A comunicação por consulta é caracterizada por ser uma comunicação do tipo mestre e escravo, no qual a estação central, que é designada como mestre, controla as comunicações efetuando a leitura sequencial dos dados de cada estação remota, que são escravos. As estações remotas são identificadas por um endereço único e respondem a estação central somente após a recepção de um pedido. Caso uma estação remota não responda às solicitações dentro de um tempo predeterminado novas tentativas de consulta serão realizadas antes de ser declarado o *time-out* (tempo esgotado), nesse caso a estação central avança para a próxima remota (MORAES; CASTRUCCI, 2010).

Para Moraes e Castrucci (2010), algumas das vantagens da comunicação por consulta devem-se a simplicidade no processo de aquisição de dados, a inexistência de colisões no tráfego da rede, permite garantir tempos de resposta, possui maior facilidade na detecção de falhas de ligação e possibilita o uso de remotas não-inteligentes.

Em contrapartida as principais desvantagens desse método devem-se a limitação das estações remotas, que são designadas como escravo na comunicação, impossibilitando que

as mesmas enviem solicitações para estação central ou se comuniquem entre si. O aumento do número de remotas também causa impactos negativos no tempo de espera (MORAES; CASTRUCCI, 2010).

2.4.2 Comunicação por interrupção (*Report by Exception*)

Na comunicação por interrupção a UTR fica responsável por monitorar seus valores de entrada e comunicar a estação central quando houverem alterações, sendo um método de comunicação adequado para processos em que a variação nos valores ocorre de forma lenta e com pouca frequência (MEHTA; REDDY, 2015)

Para realizar a transmissão, a estação remota primeiramente realiza a verificação do meio de comunicação para avaliar sua disponibilidade. Se o meio estiver indisponível ou ocupado por outra remota, a UTR aguarda um tempo predefinido antes de efetuar uma nova tentativa. Caso ocorram excessivas colisões, a estação remota cancela a transmissão e aguarda a estação central realizar a comunicação por consulta (MORAES; CASTRUCCI, 2010).

Dentre as vantagens descritas por Moraes e Castrucci (2010) na utilização deste método de comunicação estão a diminuição no tráfego na rede, detecção rápida de informação urgente e a comunicação entre UTRs. Já as desvantagens devem-se ao fato de que a estação central consegue detectar falhas somente após um período de tempo, quando efetua o *polling* no sistema e a necessidade de ação por parte do operador para obtenção de valores atualizados.

2.4.3 Interface Homem-Máquina

As interfaces Homem-Máquina, também conhecidas como IHMs, são sistemas de supervisão caracterizados por possuírem uma construção robusta, resistente a umidade, temperatura e poeira, sendo normalmente utilizados em automação em ambientes agressivos como o chão de fábrica (MORAES; CASTRUCCI, 2010).

De modo geral, uma IHM é um hardware industrial que pode ser extremamente especializado para atender a função a qual se destina. Possui geralmente uma tela e um conjunto de teclas que permitem monitorar informações e inserir dados em uma determinada aplicação. Algumas possíveis atribuições das IHMs são listadas na sequência (MORAES; CASTRUCCI, 2010):

- Visualizar alarmes gerados por anomalias no sistema;
- Visualizar dados de equipamentos em um determinado processo;
- Alterar parâmetros do processo;
- Alterar configuração de equipamentos.

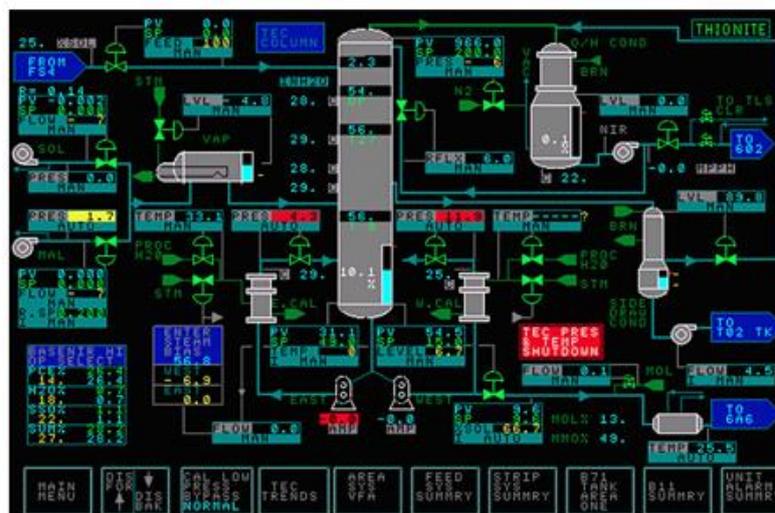
Devido as suas características, as IHMs estão normalmente próximas a linha de produção, sendo instaladas nas estações de trabalho com a finalidade fornecer informações de fácil entendimento (MORAES; CASTRUCCI, 2010).

2.4.4 IHM de Alto Desempenho Visual

A metodologia de IHMs de alto desempenho foi desenvolvida com o intuito de fornecer informações de melhor qualidade a um baixo custo de processamento cognitivo, no qual o desenho dos objetos utilizados para representação dos equipamentos industriais e de dados do processo passam a ser minimalistas, reduzidos ao essencial, com cores discretas e pouco chamativas (GOETZ, 2019).

De acordo com Goetz (2019), além da parte estética, a metodologia permite que a interface passe a atuar na prevenção de falhas e redução de erros operativos, proporcionando ao usuário maior facilidade de aprendizado e memorização através da visualização de informações efetivas e não apenas dados brutos.

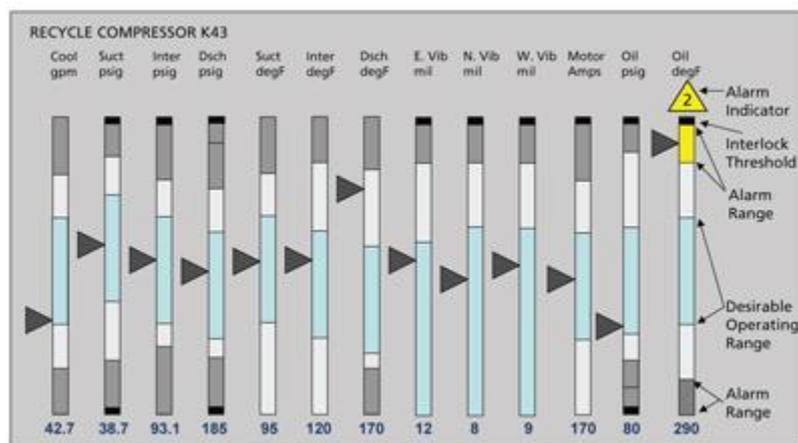
Figura 12 – Tela de supervisão baseada em diagrama de tubulação e instrumentação.



Fonte: HOLLIFIELD (2012).

Na Figura 12 é possível visualizar uma tela de supervisão desenvolvida com base no diagrama de tubulação e instrumentação, sendo está a metodologia tradicionalmente aplicada na indústria. Esta metodologia exige meses de treinamento e experiência por parte do operador, tanto em condições normais quanto em condições anormais de operação, para melhor compreensão dos dados expostos e, por este motivo, a detecção de condições atípicas do processo é dificultada (HOLLIFIELD, 2012).

Figura 13 – Tela de supervisão com representação analógica de informações.



Fonte: HOLLIFIELD (2012).

Já na Figura 13 as informações são apresentadas de maneira diferente. O intervalo desejado ou normal de operação é representado utilizando uma cor azul clara, enquanto que as demais cores representam a proximidade do valor com os alarmes e limites dos intertravamentos. Desta forma, o operador pode observar de modo rápido e eficiente diversos parâmetros do processo e facilmente identificar anormalidades, antes mesmo destas variáveis entrarem em condição de alarme (HOLLIFIELD, 2012).

O desenvolvimento de IHMs de alto desempenho tem por objetivo melhorar a usabilidade da interface industrial tanto em situações normais quanto em situações críticas, aumentando sua segurança. Uma interface com boa usabilidade deve ser de fácil aprendizagem e memorização, além de possuir uma baixa taxa de erros, permitindo que o operador consiga avaliar a situação em tempo real a fim de evitar acidentes (GOETZ, 2019).

2.5 REDES INDUSTRIAIS

Com sistemas de controle se tornando mais complexos é essencial que a comunicação entre os componentes do sistema seja adequada e eficiente. Em alguns sistemas de controle é necessário que diferentes CLPs estejam interconectados para facilitar a troca de dados, já em outros sistemas é necessária uma comunicação que englobe toda a planta objetivando a centralização de funções, como a aquisição de dados, o monitoramento de sistemas, o diagnóstico de manutenções e o gerenciamento da produção, de modo a garantir a máxima eficiência e produtividade (BRYAN; BRYAN, 1997).

De acordo com Moraes e Castrucci (2010), as redes industriais são amplamente utilizadas devido às vantagens que apresentam com relação aos sistemas convencionais de cabeamento, como a facilidade na manutenção, a flexibilidade na configuração da rede, a diminuição de fiação e, principalmente, a possibilidade de realizar diagnóstico dos dispositivos.

Outra vantagem decorre do fato de utilizarem protocolos de comunicação digital padronizados, possibilitando a integração de equipamentos de diferentes fabricantes e garantindo maior flexibilidade e capacidade de expansão. Em uma rede de automação industrial os protocolos caracterizam os elementos de maior importância e geralmente a rede é nomeada de acordo com o protocolo utilizado (MORAES; CASTRUCCI, 2010).

Atualmente existem diversos tipos de protocolos utilizados nas redes industriais, no qual cada protocolo conta com diferentes regras para realizar a transferência de dados e comunicação entre dispositivos. Alguns exemplos de protocolos são o DeviceNet, o Modbus, o CANOpen, a AS-Interface, o Profibus, o Profinet, dentre outros (MURRELEKTRONIK, 2018).

Neste tópico serão abordadas as principais características do protocolo Modbus, o qual foi utilizado na implementação da rede de comunicação entre os dispositivos da planta.

2.5.1 Protocolo Modbus

O protocolo Modbus foi criado em 1978 pela empresa *Modicon Inc.* para servir como um meio simples de comunicação de dados entre controladores e sensores, tornando-se rapidamente em um dos protocolos mais populares no campo da automação industrial e sendo utilizado até os dias atuais (BELLIARDI; NEUBERT, 2015).

A comunicação utilizada no Modbus é do tipo mestre-escravo no qual a rede suporta um mestre e até 247 escravos. Os dispositivos escravos são elementos passivos que apenas respondem a requisições diretas vindas do mestre e não se comunicam entre si. Já os dispositivos mestres podem enviar dois tipos de mensagens, a unicast e a broadcast. Nas mensagens do tipo unicast o mestre envia uma requisição a um escravo definido e este retorna com uma mensagem-resposta ao mestre, já nas mensagens do tipo *broadcast* o mestre envia requisições a todos os escravos na rede que, neste caso, não retornam com uma mensagem-resposta (MORAES; CASTRUCCI, 2010).

Segundo Belliardi e Neubert (2015), a popularidade do Modbus deve-se principalmente à sua simplicidade, que viabiliza a implantação do protocolo em diferentes aplicações industriais, além de ser suportado em diferentes plataformas, podendo ser executado em qualquer computador, processador ou microcontrolador. O Modbus também apresenta vantagens como baixo custo de implementação e manutenção.

O *Modbus* possui duas formas de transmissão, estas podendo ser sobre uma linha serial ou baseada em TCP/IP, do inglês Transmission Control Protocol (Protocolo de Controle de Transmissão) e Internet Protocol (Protocolo de Internet). A primeira é o modo de unidade terminal remota, do inglês RTU (Remote Terminal Unit), e a segunda o modo ASCII, do inglês American Standard Code for Information Interchange podendo ser traduzido como Código Padrão Americano para o Intercâmbio de Informação. (BELLIARDI; NEUBERT, 2015).

Neste tópico os modos de transmissão RTU e TCP serão abordados com mais detalhes por possuir a estrutura que será utilizada no projeto.

2.5.1.1 Modbus RTU

O protocolo Modbus possui um total de 256 endereços, no qual o endereço zero é utilizado para enviar uma mensagem a todos os escravos (*broadcast*), os endereços de 1 a 247 são os endereços que estão disponíveis para dispositivos escravos, e o restante dos endereços, de 247 até 255, são reservados. O dispositivo mestre não possui endereçamento (MODICON, 1996).

No modo RTU não possui um caractere que seja responsável por indicar o momento de início ou fim de uma mensagem. A indicação de início ou fim de um telegrama no modo RTU é feita pela ausência de transmissão de dados na rede por um tempo mínimo que

equivale a 3,5 vezes o tempo necessário para transmitir um byte de dados (MODICON, 1996).

A estrutura de um telegrama Modbus RTU pode ser observada na Figura 14 a seguir:

Figura 14 - Estrutura do protocolo Modbus RTU.

Endereço	Função	Dados	Verificação CRC
8 bits	8 bits	N x 8 bits	16 bits

Fonte: Adaptado de MODICON (1996)

Na função o mestre especifica qual o tipo de operação é solicitado ao escravo, no qual operações de leitura e escrita são as mais comumente requisitadas. A Tabela 1 mostra alguns dos códigos das funções mais utilizadas:

Tabela 1 - Principais funções do protocolo Modbus.

Código da função	Descrição
1	Leitura do estado de uma saída discreta (<i>coil</i>)
2	Leitura do estado de uma entrada discreta (<i>input</i>)
3	Leitura de registrador do tipo <i>holding</i>
4	Leitura de registrador de entrada (<i>input</i>)
5	Escrita em uma saída discreta (<i>coil</i>)
6	Escrita em um registrador do tipo <i>holding</i>
15	Escrita em múltiplas saídas discretas (<i>coil</i>)
16	Escrita em múltiplos registradores do tipo <i>holding</i>

Fonte: Adaptado de MODICON (1996)

Os dados em um telegrama Modbus podem conter informações extras, no caso de uma solicitação enviada do mestre ao escravo, sobre a tarefa solicitada como, por exemplo, o endereço de um registrador específico. Se não houver nenhum erro, a resposta do

dispositivo escravo ao mestre irá conter os dados solicitados e, na ocorrência de algum erro, o código do erro é enviado ao mestre para permitir a determinação da próxima ação a ser tomada (MODICON, 1996).

A verificação de erros no modo de transmissão RTU é baseada no algoritmo de verificação cíclica de redundância, conhecida também como CRC (Cyclic Redundancy Check). Este algoritmo detecta mudanças acidentais em uma cadeia de dados. O valor do CRC é calculado pelo dispositivo transmissor e enviado no telegrama ao dispositivo receptor, que recalcula o valor do CRC e realiza uma comparação entre os valores recebido e calculado. Qualquer diferença entre os valores calculados resulta em erro (MODICON, 1996).

2.5.1.2 Modbus TCP

O Modbus TCP é uma versão do protocolo baseada em TCP/IP. Essa versão acrescenta um cabeçalho ao telegrama chamado MBAP (Modibus Application Protocol), em português chamado de protocolo de aplicação Modbus. O MBAP é composto por sete bytes que contém os seguintes campos (BELLIARDI; NEUBERT, 2015):

- Identificador de transação (*Transaction identifier*): Possui dois bytes e é utilizado na identificação de cada requisição;
- Identificador de protocolo (*Protocol identifier*): Possui dois bytes e é utilizado na identificação do protocolo utilizado. O valor do protocolo Modbus é zero;
- Comprimento (*Lenght*): Possui dois bytes e possui a contagem de todos os próximos bytes;
- Identificador da unidade (*Unit identifier*): Possui um byte e é utilizado para identificar o escravo remoto em uma rede Modbus RTU.

Para habilitar o envio de requisições, o cliente Modbus TCP deve iniciar uma conexão TCP com o servidor, sendo que a porta padrão é a TCP 502.

3 METODOLOGIA

Este capítulo aborda as etapas necessárias para a elaboração de um sistema SCADA com base nos requisitos preestabelecidos no escopo do projeto da usina de bioetanol. Em um primeiro momento serão abordadas as especificações do conjunto de automação e, posteriormente, são descritas as etapas de desenvolvimento e implementação do sistema supervisorio.

3.1 ESPECIFICAÇÕES DO SISTEMA DE AUTOMAÇÃO

Nesta seção serão abordadas as especificações fundamentais do sistema de automação para o início do desenvolvimento do sistema supervisorio em questão. Os tópicos a serem apresentados englobam a arquitetura de rede do sistema, a plataforma de desenvolvimento que será utilizada e, também, o padrão visual do sistema supervisorio.

3.1.1 Arquitetura de Rede

A elaboração da arquitetura de rede é realizada através do uso de diagramas unifilares. Estes diagramas contém todas as especificações do projeto, como a configuração de hardware do CLP, as redes de comunicação utilizadas e também a distribuição das E/S analógicas e digitais, conforme respectivamente apresentados nos ANEXOS A, B e C.

O objetivo da arquitetura de rede é fornecer um panorama geral do sistema de automação através de um diagrama simplificado que identifica os diferentes conjuntos em que o sistema irá atuar, os dispositivos utilizados em cada área e as redes de comunicação que serão implementadas para a troca de informações entre todos os componentes.

No projeto estudado, a arquitetura de rede é composta por seis áreas, sendo elas a Casa de Força, o Centro Operacional Integrado (COI), o Carregamento de Etanol, a Caldeira, o Moinho e o Processo. As redes de comunicação são representadas pelas linhas que conectam os componentes, sendo que as linhas azuis representam a comunicação Modbus TCP e as linhas vermelhas representam as conexões por fibra óptica. O diagrama da arquitetura de rede é apresentado na Figura 15.

A Casa de Força é responsável pelo gerenciamento e distribuição da carga elétrica objetivando o fornecimento de energia para as demais áreas da usina. O COI, por sua vez, é responsável por centralizar a operação da planta por meio de um sistema SCADA que comunica com todos os dispositivos inteligentes conectado à rede de comunicação. Nas demais áreas como Carregamento de Etanol, Caldeira, Moinho e Processo, estão localizados os CLPs, Remotas e IHMs que atuam no controle do seu respectivo processo.

3.1.2 Plataformas de Desenvolvimento do Software Aplicativo

O desenvolvimento do projeto de automação será realizado utilizando a plataforma Rockwell dentro do qual o software utilizado para desenvolver sistemas SCADA é o FactoryTalk View Studio e o software para programação dos CLPs é o Logix Designer 5000, utilizado para de controladores da família Logix 5000.

Neste trabalho o foco será sobre a ferramenta FactoryTalk View Studio na sua versão Site Edition que é utilizada no desenvolvimento do sistema supervisório.

3.1.3 Padrão Visual do Sistema SCADA

Para o desenvolvimento do sistema SCADA será utilizada a metodologia de IHM de alto desempenho que é caracterizada pelo baixo contraste entre as cores presentes na tela, dando foco apenas as informações mais relevantes do processo em um dado momento.

Este padrão tem por objetivo disponibilizar de forma intuitiva todos os dados de um determinado processo ao operador, buscando enfatizar as condições não adequadas de operação.

Uma vantagem inerente deste padrão é relacionada com a maior facilidade de operação, devendo-se ao fato de o mesmo buscar apresentar informações de modo intuitivo e direcionado, eliminando todos os detalhes que não contribuem ativamente para o funcionamento do sistema.

3.2 ETAPAS DE IMPLEMENTAÇÃO

Para o funcionamento adequado de um sistema supervisório, se faz necessário a execução de uma sequência de etapas que englobam a configuração e desenvolvimento dos recursos do SCADA. Ao longo desta seção, estas etapas serão abordadas em três tópicos

distintos que englobam a configuração das plataformas de desenvolvimento, o desenvolvimento das telas de operação e o desenvolvimento das funcionalidades do sistema supervisorio.

3.2.1 Configuração das Plataformas de Desenvolvimento

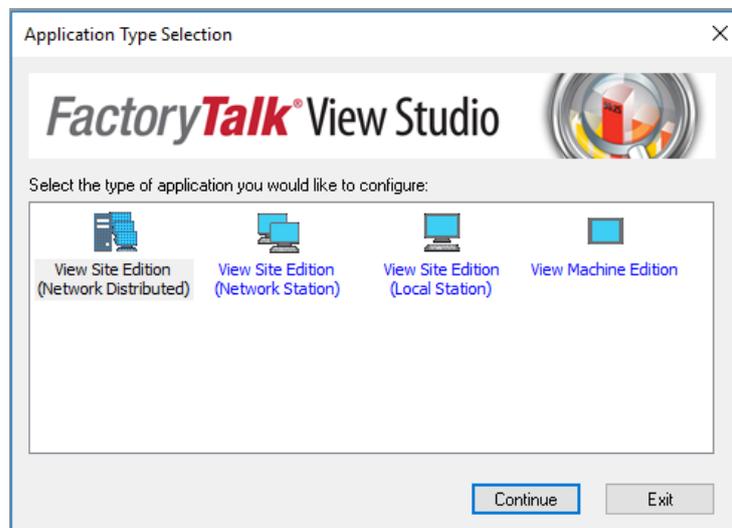
Para iniciar a implementação de um sistema supervisorio é necessário realizar a configuração inicial do software de desenvolvimento escolhido. Neste trabalho a plataforma utilizada será o FactoryTalk View Studio.

Ao longo deste tópico serão abordadas as etapas de estruturação de um sistema supervisorio, englobando o tipo de aplicação, os diferentes tipos de servidores e as configurações necessárias para possibilitar o correto funcionamento destes componentes.

3.2.1.1 Seleção do tipo de aplicação no FactoryTalk View Studio

No início do desenvolvimento de um sistema SCADA pelo FactoryTalk View Studio é necessário selecionar o tipo de aplicação que será desenvolvida. Ao executar o software são apresentados quatro tipos de aplicações no qual cada aplicação possui características únicas que devem ser levadas em consideração durante o desenvolvimento do projeto. A escolha da aplicação é feita conforme mostrado na Figura 16.

Figura 16 - Seleção do Tipo de Aplicação no FactoryTalk View Studio



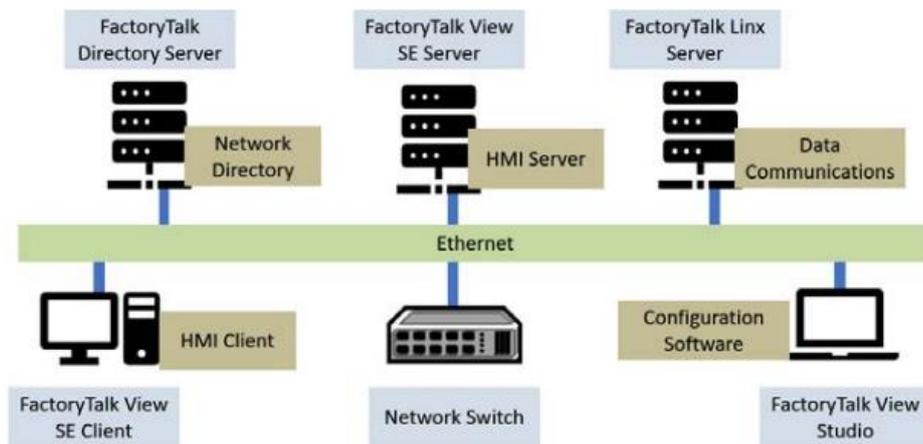
Fonte: Autor (2021)

Devido a quantidade de equipamentos presentes no sistema de automação deste projeto, será utilizada a aplicação *Network Distributed*, a qual possui suporte para múltiplos clientes, redundância entre servidores e a possibilidade de comunicação com componentes que estão sendo executados em outras máquinas, conforme descrito pela Rockwell Automation (2020).

3.2.1.2 Arquitetura do sistema FactoryTalk View

A arquitetura de um projeto dentro de um sistema FactoryTalk View consiste em múltiplos componentes que proporcionam ferramentas de edição e configuração, possibilitando o desenvolvimento de aplicações completas. A plataforma FactoryTalk View também contém clientes e softwares de servidores que são utilizados para comunicar e testar as aplicações desenvolvidas. Na Figura 17 é apresentado um exemplo de sistema distribuído utilizando os diferentes componentes presentes no FactoryTalk View (ROCKWELL AUTOMATION, 2020).

Figura 17 - Sistema distribuído utilizando componentes da plataforma FactoryTalk View



Autor: Rockwell Automation (2020)

Ao criar um novo projeto é necessário adicionar e configurar os componentes que irão fazer parte de sua arquitetura. Neste projeto serão utilizados três componentes sendo eles o servidor de IHM, o servidor de alarmes e eventos e, também, o servidor de comunicação de dados.

O servidor de IHM é responsável por armazenar os componentes gráficos, como telas, símbolos e objetos do projeto, possuindo também funcionalidades que incluem o

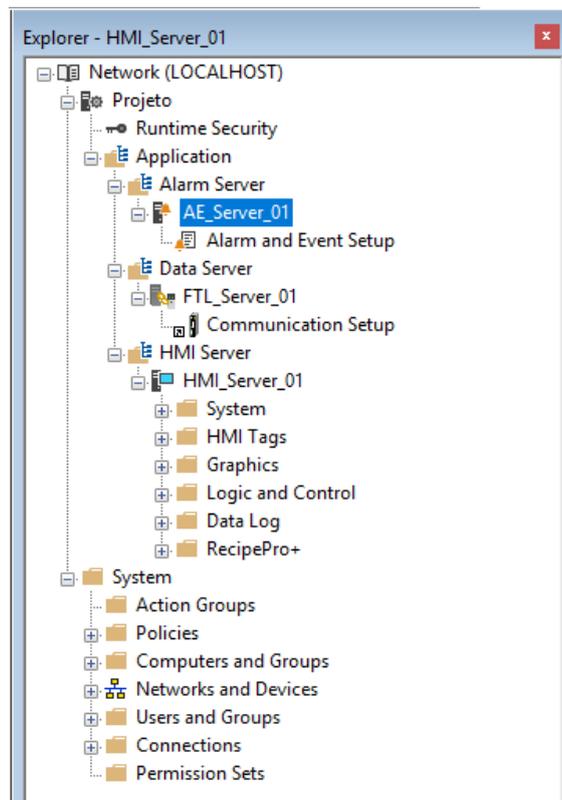
registro de dados em um histórico e uma base de dados de tags. Já no servidor de alarmes e eventos são fornecidas ferramentas que possibilitam o controle e monitoramento de alarmes contidos no sistema (ROCKWELL AUTOMATION, 2020).

Por fim, o servidor de comunicação de dados disponibiliza para o sistema SCADA as informações fornecidas por dispositivos locais ou remotos. No caso deste projeto os dispositivos são CLPs da família Logix 5000 e por este motivo será utilizado a ferramenta FactoryTalk Linx como servidor de comunicação.

O FactoryTalk Linx é adequado para comunicação com controladores Logix 5000 por possuir funcionalidades que aumentam a eficiência da comunicação entre servidor e dispositivo como a leitura de tags, online ou off-line diretamente do controlador, dispensando a necessidade de tags intermediárias. Também é possível criar atalhos para controladores redundantes e executar tarefas com download ou upload de arquivos Logix 5000 (ROCKWELL AUTOMATION, 2020).

Na Figura 18 é mostrado um exemplo de arquitetura de um projeto de sistema SCADA com os servidores de alarme e eventos, comunicação de dados e IHM adicionados.

Figura 18 - Arquitetura de um projeto de sistema SCADA



Fonte: Autor (2021)

Com a arquitetura do sistema declarada é possível dar início à próxima etapa de implementação do sistema SCADA que consiste na configuração de seus componentes, conforme será abordado no próximo item.

3.2.1.3 Configuração dos componentes do sistema FactoryTalk View

Para garantir a funcionalidade do sistema supervisório, é necessário configurar os componentes que fazem parte da arquitetura do FactoryTalk View como os servidores de comunicação de dados, alarmes e eventos e IHM, os grupos e usuários do sistema e a conexão com a base de dados.

A configuração do servidor de comunicação de dados FactoryTalk Linx requer apenas que seja estabelecido um caminho entre o servidor e o dispositivo Logix 5000. Os dados podem ser adquiridos de modo off-line, através de um backup do arquivo de programação do dispositivo ou então online, por meio de comunicação direta via ethernet entre o servidor e o dispositivo.

O servidor de alarmes e eventos é configurado com base em dados adquiridos por intermédio do servidor de comunicação de dados. Os dados são classificados individualmente entre alarmes e eventos, podendo também ser diferenciados por áreas predeterminadas pelo usuário. No geral, um alarme é utilizado para identificar um estado de operação inadequado, ou de risco, de um determinado equipamento, já os eventos são utilizados para identificar mudanças de estado de um dispositivo. Para cada alarme e evento também devem ser atribuídas descrições que possibilitem ao operador do sistema supervisório identificar sua origem.

No servidor de IHM existem recursos configuráveis que devem ser levados em consideração para assegurar o funcionamento do sistema supervisório. Dentre eles está o armazenamento de dados históricos, sendo possível selecionar dados que terão seus valores salvos, a periodicidade na qual os dados serão coletados e também o tempo em que os dados estarão disponíveis no servidor. Também são utilizados macros no servidor de IHM para executar uma sequência de comandos que habilitam recursos do SCADA e configurações pré-definidas do sistema.

Além dos recursos citados no parágrafo anterior, no servidor de IHM também são criadas as telas de operação do sistema supervisório. No próximo item será abordado em

maiores detalhes as peculiaridades, configurações e propriedades das telas e objetos que serão utilizados no projeto.

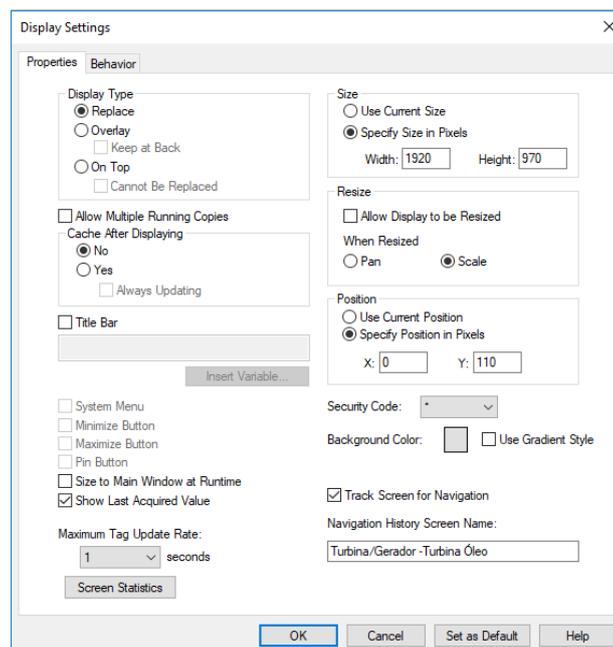
Outra configuração necessária envolve as permissões de acesso do sistema, a qual permite categorizar e atribuir restrições de acesso de determinados grupos e usuários a diferentes recursos do sistema SCADA. A atribuição adequada das permissões de um usuário garante maior segurança ao sistema, limitando sua operação somente aos recursos que lhe são cabíveis.

3.2.2 Configuração das Telas de Operação do Sistema SCADA

As telas do SCADA são a principal ferramenta do servidor de IHM, no qual através de seu desenvolvimento é possível construir a interface de operação que será utilizada pelo operador para supervisionar o estado do sistema e também atuar no controle de diferentes partes do processo.

Cada tela deve ser configurada de acordo com as especificações do projeto e também com a sua finalidade, podendo ser diferenciadas entre telas de operação ou então pop-ups. As telas de operação são responsáveis por disponibilizar informações gerais de um processo, já as pop-ups são janelas que possuem informações específicas e mais detalhadas de determinados equipamentos ou etapas de um processo.

Figura 19 - Configuração de telas do servidor de IHM



Fonte: Autor (2021)

Na Figura 19 é mostrada a aba de propriedades da janela de configuração de telas, sendo possível selecionar e determinar diferentes atributos para a tela que será desenvolvida.

De modo geral, para garantir o desempenho do sistema supervisório são desabilitadas as opções de armazenamento em memória cache, é habilitada a opção para mostrar o último valor adquirido, garantindo tempo para o supervisório obter os dados atualizados e o tempo de atualização das tags é limitado em um segundo para evitar sobrecarga no SCADA e ao mesmo tempo fornecer um bom grau de confiabilidade.

Para pop-ups a sua chamada é configurada para ser por sobreposição, permitindo que a tela de operação seja visualizada simultaneamente. Já no caso das telas de operação, seu tipo de chamada é substituição, no qual a tela anterior é fechada e substituída pela nova.

As demais configurações irão variar de acordo com o projeto e se referem ao layout geral das telas, como resolução, opções de redimensionamento e aparência, podendo também ser atribuído um nome a tela que é utilizado como referência nos navegadores do sistema supervisório. As telas também podem receber configurações de segurança, permitindo acesso somente a usuários ou grupos específicos.

3.2.3 Recursos de Supervisão e Operação do Sistema SCADA

Os recursos de supervisão e operação do sistema SCADA são utilizados para disponibilizar informações através de indicadores e possibilitar a interação do operador com o processo por meio comandos. Dentre esses recursos estão botões, objetos globais e ferramentas de exibição de dados analógicos e alarmes.

Neste tópico será abordado os aspectos e atributos de um objeto global, como recursos para execução de comandos e exibição de dados, e a configuração do sumário de alarmes e eventos.

3.2.3.1 Objetos globais

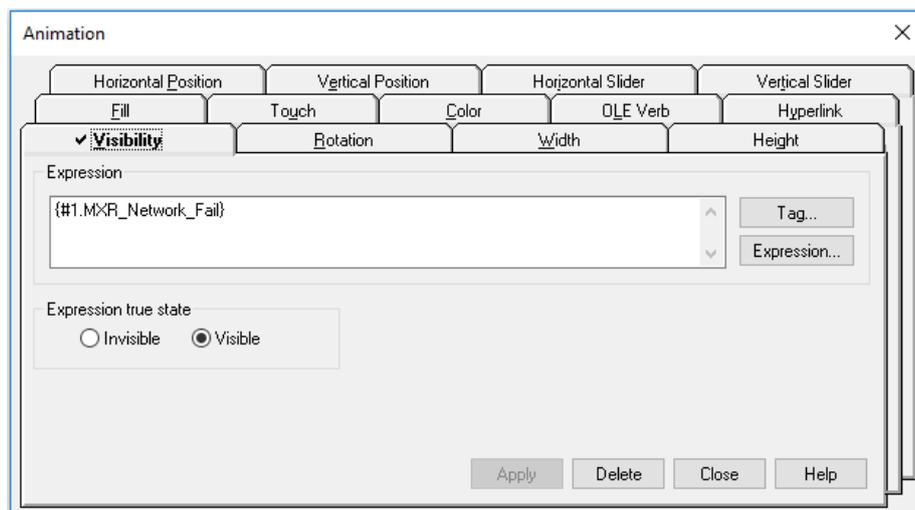
Os objetos globais são um recurso do servidor de IHM que possibilita a criação de objetos genéricos, os quais estes podem ser replicados em múltiplas telas do sistema supervisório, mantendo o mesmo padrão e estrutura em todas as suas chamadas.

Como principal vantagem, toda alteração realizada em um objeto global é repassada para todas as suas réplicas, facilitando a manutenção e edição dos recursos utilizados dentro de um objeto.

Em geral, os objetos globais são utilizados para representar equipamentos que estão em grande quantidade dentro do escopo de um projeto, como por exemplo, relés, motores e válvulas. Desta forma é possível generalizar as informações que serão apresentadas e utilizar um único padrão para todos os dispositivos de um mesmo tipo.

Dentro de um objeto global é possível agrupar múltiplas informações e indicadores, como sinais de alarmes, estados de operação de um equipamento e leituras de valores analógicos, sendo possível também adicionar botões para comandos. Todos estes recursos estão contidos nas propriedades das animações e podem ser configurados individualmente.

Figura 20 - Janela de configuração dos recursos de animação



Fonte: Autor (2021)

Na Figura 20 é mostrada a janela de configuração dos recursos de animação, sendo que cada aba representa uma propriedade que pode ser configurada para o objeto selecionado. Em geral são utilizados 4 recursos, sendo eles o de visibilidade (*Visibility*), preenchimento (*Fill*), toque (*Touch*) e cor (*Color*).

A visibilidade define se o objeto selecionado estará visível ou não com base em uma expressão que deve retornar um valor falso (zero) ou verdadeiro (um). Utilizado para representar alguma anomalia ou estado específico do equipamento, como bloqueios, alarmes, falhas de comunicação e modo de manutenção.

O recurso de preenchimento possibilita definir uma animação que preenche o objeto selecionado com uma cor pré-definida tendo como base o resultado de uma expressão ou leitura analógica. Este recurso também permite definir valores limites e a direção em que o objeto é preenchido. Em geral é utilizado em gráficos de barras para representar o nível em tanques ou então valores limites de determinados processos.

Com a propriedade toque é possível configurar um comando que será executado quando o objeto for pressionado. O toque é geralmente adicionado para executar o comando de chamada da pop-up do equipamento.

Por fim, a propriedade de cor possibilita definir diferentes cores para um objeto selecionado com base nos resultados de uma expressão, podendo também habilitar animações de pisca e configurar sua frequência. Este recurso é utilizado para representar diferentes estados de operação de um equipamento e também identificar o nível de criticidade de um alarme.

Através do uso dos recursos de animação é possível implementar um objeto global com grande nível de abstração de informações, possibilitando uma leitura panorâmica rápida do processo e auxiliando o operador na identificação de anomalias e na tomada de decisões.

3.2.3.2 Sumário de alarmes e eventos

O sumário de alarmes e eventos é um recurso do FactoryTalk View Studio que possibilita monitorar em tempo real através do SCADA todas as ocorrências configuradas no servidor de alarmes e eventos.

A principal função do sumário é fornecer ao operador uma descrição assertiva e resumida de um alarme, identificando o grau de urgência, o equipamento afetado, o horário da ocorrência e a sua causa. Por este motivo, o sumário deve estar visível em todas as telas, garantindo sua funcionalidade.

Em geral alarmes com prioridade máxima são sinalizados em vermelho, os de prioridade alta são sinalizados em laranja e os de média prioridade são sinalizados em amarelo. Para falhas de comunicação, classificadas como baixa prioridade, a representação é em roxo.

Através das classificações são criados filtros que garantem que alarmes de maior prioridade e com maior tempo ativo estejam sempre no topo da lista, definindo uma ordem na qual as ações corretivas devem ser realizadas.

4 IMPLEMENTAÇÃO DO PROJETO

Ao longo deste capítulo serão abordadas as etapas de implementação do projeto que irão viabilizar a concepção do sistema SCADA, tendo como base a metodologia apresentada no capítulo anterior.

Dentre os tópicos que serão abordados estão a estruturação da arquitetura do projeto, a elaboração do layout das telas de supervisão, a implementação de objetos globais, a estruturação de pop-ups e a configuração dos sumários e históricos de alarmes e eventos.

4.1 ESTRUTURAÇÃO DA ARQUITETURA DO PROJETO

A estruturação da arquitetura do projeto garante que todas as funcionalidades necessárias para o funcionamento do sistema SCADA estejam configuradas e disponíveis para uso.

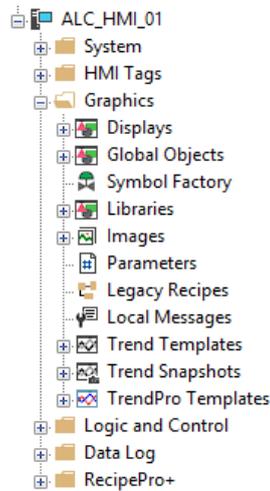
Neste projeto a arquitetura é composta por três tipos distintos de servidores, sendo eles os servidores de IHM, de alarmes e eventos e de comunicação de dados. Ao longo deste tópico será abordada a implementação de cada um dos servidores, levando em consideração suas características individuais.

4.1.1 Servidor de IHM

No servidor de IHM são desenvolvidos os recursos utilizados na implementação do sistema de supervisão, como as telas, os objetos globais, as bibliotecas de símbolos, o registro de dados históricos e até macros para execução do sistema. Neste item serão abordadas as configurações necessárias para garantir o funcionamento adequado do servidor e de seus recursos de acordo com as especificações do projeto.

Ao inserir um servidor de IHM na aplicação é adicionada ao projeto uma estrutura com todos os recursos do servidor, classificadas de acordo com a sua funcionalidade, conforme mostrado na Figura 21 a seguir:

Figura 21 - Estrutura do Servidor de IHM

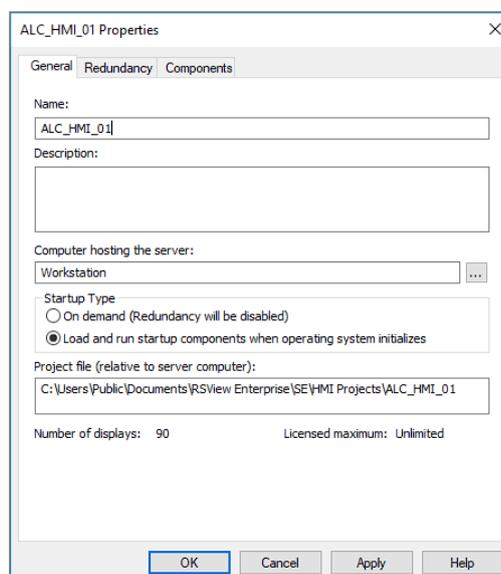


Fonte: Autor (2021)

Conforme é possível visualizar na Figura 21, o servidor de IHM foi nomeado como *ALC_HMI_01* e dentro dele estão pastas contendo diferentes recursos. Neste trabalho os itens que serão utilizados estão englobados pelas pastas *Graphics* (Gráficos), *Logic and Control* (Lógica e Controle) e *Datalog* (Histórico de Dados).

Neste projeto a licença utilizada permite que até cem telas sejam criadas, ou seja, podem existir até cem componentes dentro do item *Displays*. Para verificar a quantidade de telas, definir o computador em que será hospedado o servidor de IHM e habilitar a redundância de servidor é necessário acessar as propriedades do servidor *ALC_HMI_01*.

Figura 22 - Propriedades do servidor IHM



Fonte: Autor (2021)

Na Figura 22 é mostrada a janela de propriedades do servidor de IHM, nela é possível definir o computador que será utilizado para hospedar o servidor, habilitar ou desabilitar a redundância de servidor de acordo com a opção de inicialização do sistema e definir o computador que será utilizado para redundância através da aba de *Redundancy*. Também é possível verificar o número de telas existentes no servidor e a capacidade permitida pela licença.

Os macros, contidos no item *Logic and Control*, são compostas por um ou mais comandos que são executados sempre que é realizada uma chamada do macro. Neste trabalho os macros são utilizados na inicialização da aplicação de supervisão no qual são executados os comandos para mostrar a barra de navegação, o menu geral, a tela de visualização inicial e também são inicializados os registros dos dados em históricos e realizado o login padrão de operação.

O registro de dados em um histórico é realizado no item *Data Log*, no qual é possível adicionar listas de variáveis que serão monitoradas e terão seus históricos armazenados de acordo com as configurações selecionadas. Em geral este recurso é utilizado para monitorar variáveis analógicas e de controle, podendo ser configurado para registrar dados em intervalos de tempo predefinidos e armazenar o histórico em um diretório de preferência por um tempo determinado.

Neste projeto os datalogs serão configurados para registrar dados a cada cinco segundos, gerando um novo arquivo de histórico diariamente e os preservando por um período de até seis meses. Cada datalog estará referenciando um conjunto de dados pertencentes a uma mesma área do processo.

4.1.2 Servidor de Alarmes e Eventos

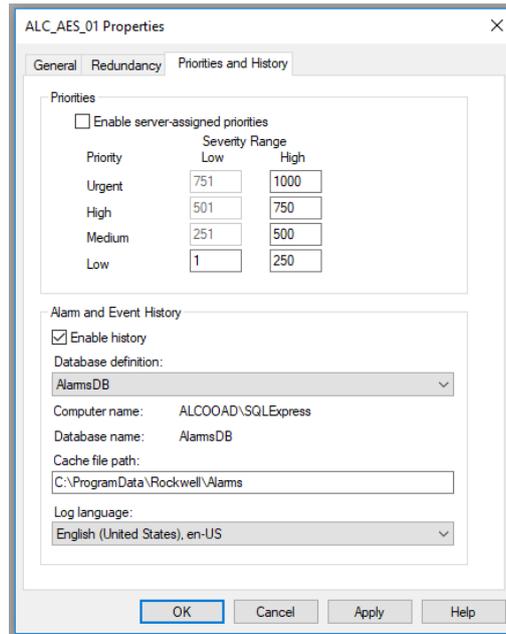
No servidor de alarmes e eventos serão adicionadas variáveis utilizadas para monitorar o estado de um determinado dispositivo. Este estado é classificado entre um alarme ou um evento, podendo possuir diferentes níveis de criticidade.

Neste projeto optou-se por realizar o gerenciamento de alarmes via CLP com o objetivo de disponibilizar essas informações ao servidor de alarmes e eventos. Este por sua vez irá permitir configurar a exibição dos alarmes e eventos no sistema SCADA.

Do mesmo modo que o servidor de IHM apresentado no item anterior, as propriedades do servidor de alarmes e eventos também possibilitam definir o computador em

que será hospedado e habilitar a redundância do servidor em diferentes computadores. Além das configurações de hospedagem, também é possível permitir a atribuição dos níveis de prioridade através do próprio servidor e habilitar o armazenamento do histórico de alarmes e eventos em uma base de dados, conforme apresentado na Figura 23:

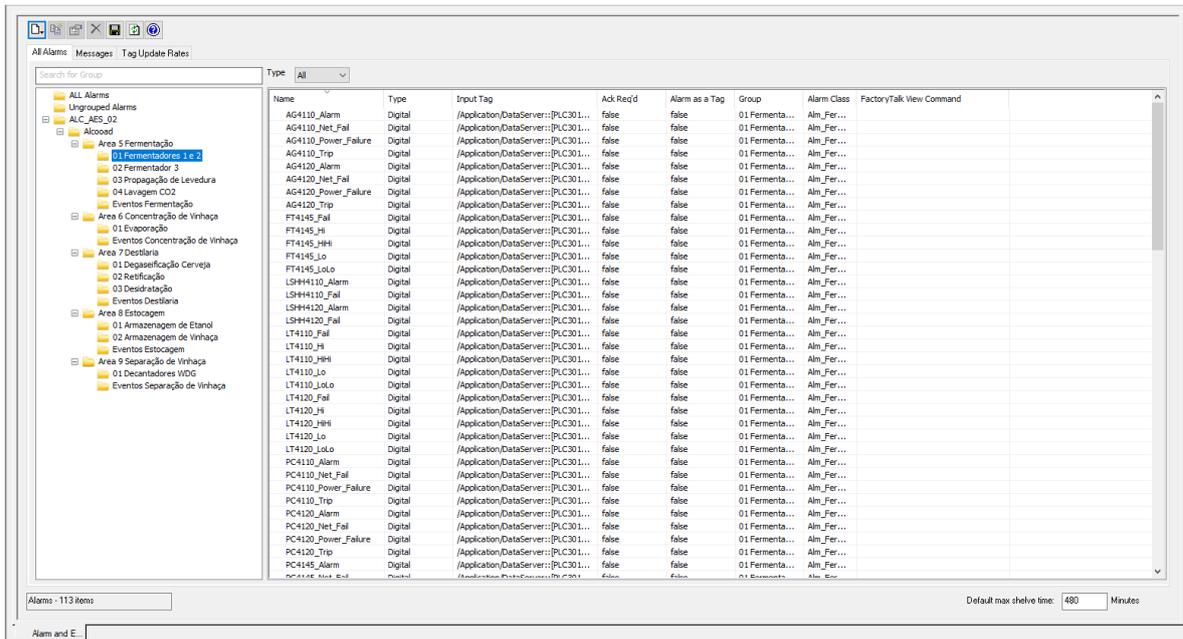
Figura 23 - Configuração de prioridades e histórico no servidor de alarmes e eventos



Fonte: Autor (2021)

Após criar o servidor de alarmes e eventos é possível iniciar a configuração de todos os alarmes e eventos que serão monitorados, conforme mostrado na Figura 24 a seguir:

Figura 24 - Configuração de alarmes e eventos



Fonte: Autor (2021)

Ao lado esquerdo da Figura 24 é possível definir agrupamentos de alarmes em diferentes níveis. Neste projeto os alarmes serão agrupados em áreas, que se referem a um processo, e subáreas que contemplam uma etapa deste processo. Tendo como finalidade possibilitar a aplicação de diferentes filtros de busca para facilitar a identificação de alarmes e eventos durante a operação.

Ainda na Figura 24, no seu lado direito estão localizados todos os alarmes e eventos presentes no agrupamento selecionado, sendo possível adicionar novos alarmes e eventos e editar ou deletar os existentes. A configuração de um alarme ou evento se dá por meio de uma janela contendo todas as suas propriedades, conforme apresentado na Figura 25:

Figura 25 - Propriedades de alarmes e eventos

Digital Alarm Properties

Name: AG4110_Alarm
 Input Tag: /Application/DataServer::[PLC301]AG4110.MXR_Alarm_Alarm
 Condition: Input <> 0 Latched
 Severity: /Application/DataServer::[PLC3] Acknowledge required
 Minimum duration: 0 Seconds Show Alarm as a Tag
 Message: /%S:0 %Tag1% - /%S:0 %Tag2% - Alarme
 ID: 10

Tag Name
Tag1 /Application/DataServer::[PLC301]AG4110.MS_Tag
Tag2 /Application/DataServer::[PLC301]AG4110.MS_Desc
Tag3
Tag4

Alarm Class: Alm_Fermentação
 FactoryTalk View Command:
 Alarm Group: Alcooad.Área 5 Fermentação.01 Fermentadores 1 e 2

Fonte: Autor (2021)

Neste projeto apenas a aba *Digital* das propriedades de alarmes e eventos foi utilizada. Nela é possível editar a variável que será monitorada, a sua condição de ativação, o seu nível de severidade, a mensagem de exibição, demais variáveis associadas e a classe do alarme e o seu agrupamento. Com exceção da mensagem de exibição, da classe do alarme e de seu agrupamento, as demais informações serão adquiridas via CLP, sendo que a condição para ativação será sempre válida para quando a variável monitorada possuir valor diferente de zero.

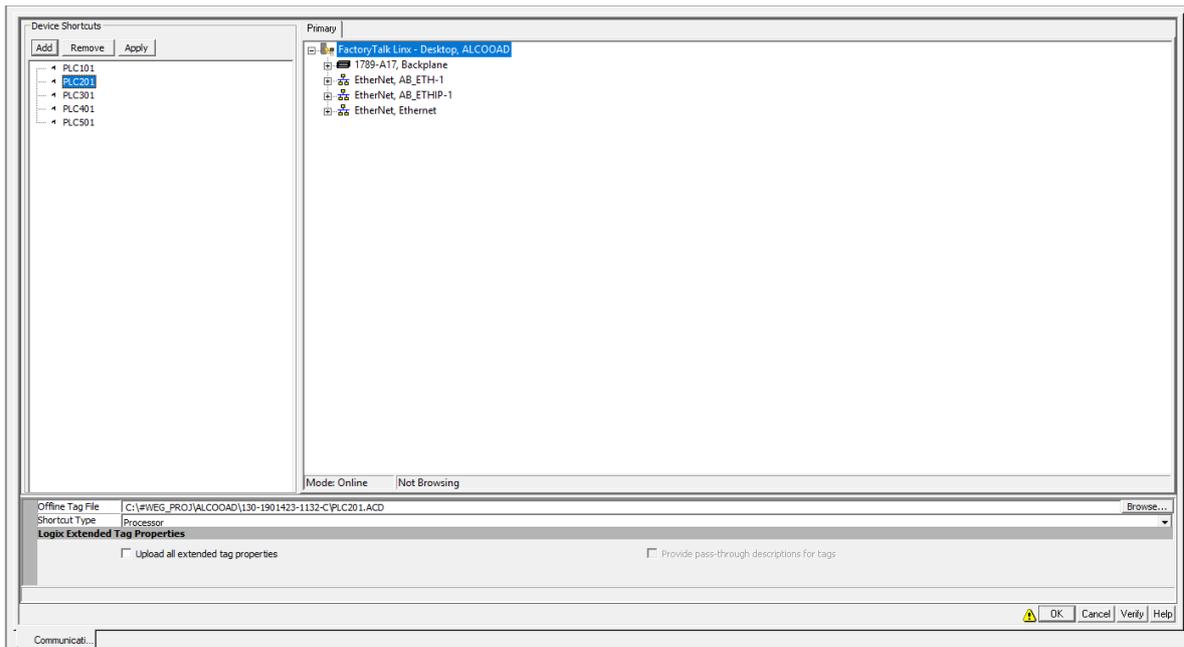
Cada alarme e evento irá possuir uma mensagem que será exibida no supervisório indicando o equipamento e a causa da falha. Para otimizar a quantidade de mensagens, foram criadas mensagens genéricas para dispositivos do mesmo modelo ou similares. A identificação do equipamento é feita via CLP, que transmite as informações para as variáveis associadas de um alarme e que são utilizadas para complementar as mensagens genéricas.

4.1.3 Servidor de Comunicação de Dados

O servidor de comunicação de dados possibilita a troca de informações entre os dispositivos inteligentes presentes no sistema de automação e o sistema supervisório, viabilizando as operações de monitoramento e de controle.

A utilização da plataforma Logix Designer 5000 para programação dos CLPs possibilita a utilização do servidor de dados FactoryTalk Linx, sendo este um recurso do FactoryTalk View Studio que permite obter as variáveis internas do CLP por meio de cópia do programa ou então através de conexão via rede Ethernet.

Figura 26 - Configuração do servidor de comunicação de dados



Fonte: Autor (2021)

Na Figura 26 é apresentada a visão geral de configuração do servidor de dados FactoryTalk Linx. Na janela ao lado esquerdo é possível adicionar ou remover diferentes dispositivos, já na janela à direita é feita a conexão via rede com o dispositivo selecionado, desde que esse seja suportado pelo servidor de dados.

No inferior da tela é possível selecionar uma cópia do programa para obtenção das variáveis mesmo quando o dispositivo estiver desligado ou fora da rede. Neste projeto todos os dispositivos são CLPs que atuam em diferentes áreas do processo produtivo.

4.3 ELABORAÇÃO DO LAYOUT DAS TELAS DE SUPERVISÃO

Este tópico aborda a elaboração do layout das telas de supervisão com o objetivo de estabelecer a disposição no qual as informações estarão visíveis ao operador e os recursos presentes para auxiliar na operação.

As telas de supervisão presentes neste projeto serão compostas por três elementos distintos, sendo eles o menu geral, o menu de navegação e a tela de visualização do processo.

4.3.1 Menu Geral das Telas de Supervisão

O menu geral é composto por informações que abrangem o sistema como um todo e está presente em todas as telas de supervisão, fornecendo recursos administrativos ao SCADA e disponibilizando dados gerais do processo.

Dentre os recursos que farão parte do menu geral estão botões para alteração do usuário, a data e hora do sistema, botões para acesso rápido ao sumário e ao histórico de alarmes e eventos, banner contendo detalhes sobre os alarmes ativos, principais dados do processo e também a logo das empresas responsáveis.

4.3.2 Menu de Navegação das Telas de Supervisão

Por meio do menu de navegação o operador consegue acessar as telas de supervisão utilizando botões que distinguem as diferentes áreas e processos da usina.

O menu será composto por duas barras, uma superior e uma inferior, que comportam até 15 botões. Na barra superior estarão localizados os botões de acesso às áreas e na barra inferior estarão todos os processos englobados pela área selecionada.

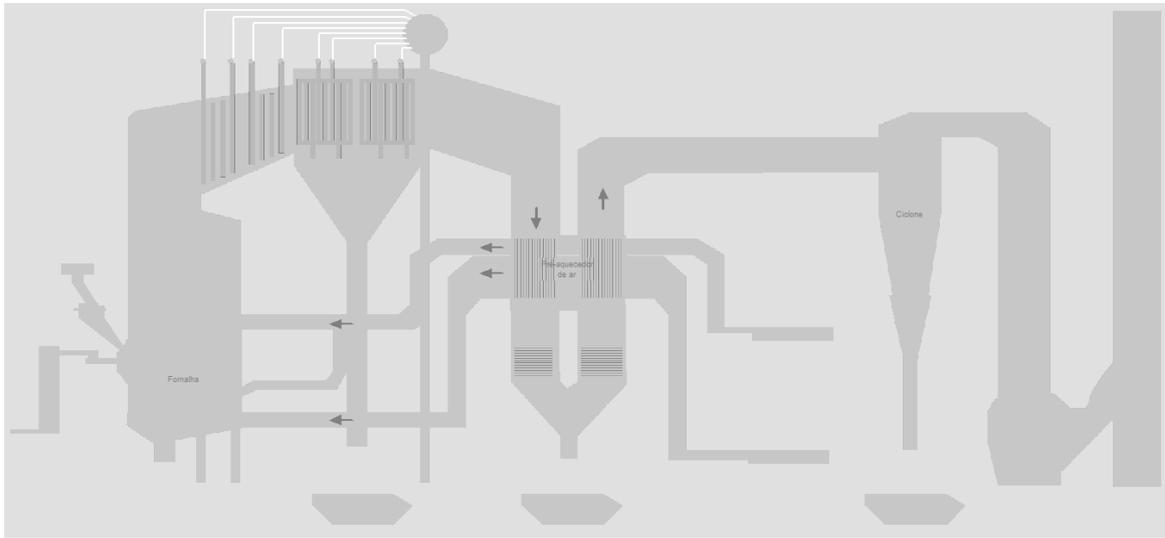
Cada botão também irá possuir uma moldura que terá como funcionalidade indicar a presença de alarmes ativos e sua severidade, auxiliando o operador na identificação da área e da subárea em que há ocorrência de irregularidades no processo.

4.3.3 Telas de Visualização do Processo

As telas de visualização de processo possuem todas as informações necessárias sobre uma determinada etapa do processo, com desenhos simplificados, que auxiliam na localização de dispositivos em campo, e também objetos e indicadores que possibilitam avaliar as condições de operação e atuar sobre o processo.

Para construir uma tela de supervisão, é primeiro desenhado a parte estrutural do processo supervisionado utilizando as ferramentas fornecidas pelo software de desenvolvimento do SCADA e na sequência são adicionados todos os objetos de monitoração e controle.

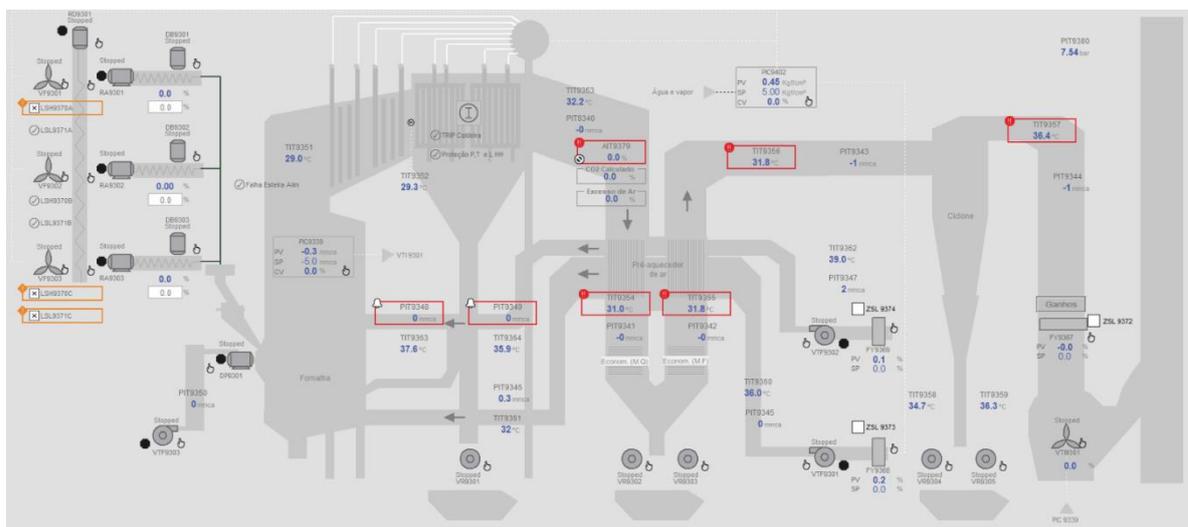
Figura 27 - Tela de supervisão com desenho estrutural



Fonte: Autor (2021)

Na Figura 27 é mostrado o desenho estrutural de um processo utilizando a metodologia de alto desempenho visual, no qual a estrutura possui formas simplificadas, cores neutras e poucos detalhes.

Figura 28 - Tela de supervisão com objetos e indicadores



Fonte: Autor (2021)

Com o desenho estrutural de um processo concluído, são adicionados todos os objetos de monitoramento e controle relacionados, resultando em uma tela de visualização

do processo conforme apresentado na Figura 28. A construção dos objetos e seus recursos será abordada no próximo tópico.

Figura 29 - Estrutura física do processo supervisionado



Fonte: Autor (2021)

A Figura 29 permite visualizar a estrutura física do processo representado nas Figuras 27 e 28. É possível notar as semelhanças entre o desenho e a estrutura e também determinar a localização e disposição aproximadas dos equipamentos com base na representação no sistema supervisório.

4.4 IMPLEMENTAÇÃO DOS OBJETOS GLOBAIS

Os objetos globais são os principais recursos de monitoração e operação apresentados neste trabalho. Isto se deve a sua característica de reutilização e manutenibilidade, tendo em vista o elevado volume de dispositivos presentes no projeto.

Com a utilização de objetos globais será possível obter todas as informações relevantes para o funcionamento de um determinado equipamento, como estados de operação, alarmes e leituras analógicas. É possível também acessar pop-ups que irão fornecer informações mais detalhadas sobre os equipamentos e possibilitar o envio de comandos aos dispositivos por meio de botões.

A implementação dos objetos globais é feita com a união de diversos símbolos com significados diferentes que tem por finalidade indicar as condições e estado de operação de um equipamento ou um dispositivo E/S em tempo real. O conjunto de símbolos utilizados em um objeto global irá depender do tipo do dispositivo, podendo variar a quantidade de indicações disponíveis.

Quadro 2 - Descrição dos símbolos de indicação dos objetos globais

Símbolo	Descrição da indicação
	Falha de comunicação com o equipamento
	Equipamento não atende as condições permissíveis ou de intertravamentos
	Operação em modo automático
	Operação em modo manual
	Modo teste ou simulação
	Condição normal de operação para sinais digitais
	Condição anormal de operação para sinais digitais
	Supressão dos alarmes do dispositivo
	Ocorrência de alarme que não se encontra mais ativo, porém não foi reconhecido pelo operador
	Alarme de prioridade baixa
	Alarme de prioridade média
	Alarme de prioridade alta
	Alarme de prioridade urgente

Fonte: Autor (2021)

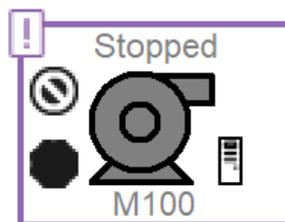
No Quadro 2 são apresentados os principais símbolos utilizados para indicar as condições de operação dos dispositivos.

Além dos símbolos, os objetos globais também contam com textos que servem para identificar o equipamento e, em alguns casos, descrever seu estado de operação e apresentar em tempo real a leitura de valores analógicos.

No caso de equipamentos que podem ser controlados via comandos, serão utilizados desenhos simplificados destes dispositivos que tem por finalidade indicar se o mesmo se encontra acionado ou desligado. Para isto, é utilizada a cor branca em equipamentos que se encontram ligado e a cor cinza escuro para equipamentos desligados.

Os objetos globais também podem apresentar um contorno que pode assumir diferentes cores para identificar a severidade do alarme. A cor roxa é utilizada para alarmes de baixa prioridade, o amarelo para alarmes de prioridade média, o laranja para prioridade alta e o vermelho para prioridade máxima.

Figura 30 - Exemplo de objeto global de uma bomba



Fonte: Autor (2021)

Na Figura 30 é mostrado o exemplo de um objeto global de uma bomba denominada M100 que se encontrada desligada, com o modo automático selecionado, indicando não atender as condições de intertravamentos ou permissíveis, com falha de comunicação e alarme de prioridade baixa ativo.

Figura 31 - Exemplo de objeto global de um sinal analógico



Fonte: Autor (2021)

A Figura 31 apresenta o objeto global da entrada analógica genérica LIT1001, que se encontra no modo simulação, indicando valor de 45% e com alarme de alta prioridade ativo.

Figura 32 - Exemplo de objeto global de um sinal digital



Fonte: Autor (2021)

Por fim, na Figura 32 é possível visualizar o objeto global do sinal digital genérico LSH100, estando este no modo simulação, com indicação de condição anormal de operação e com o alarme de prioridade muito alta acionado.

Os objetos globais são implementados de tal modo que cada símbolo e indicação esteja associada a parâmetros genéricos que posteriormente podem ser substituídos pelas variáveis de processo correspondentes. Isto possibilita replicar quantos objetos globais forem necessários, eliminando a necessidade de configurar e adaptar as animações, indicações e símbolos individualmente para cada dispositivo.

4.5 IMPLEMENTAÇÃO DE POP-UPS

As pop-ups são janelas acessadas por meio de objetos globais e que possuem informações detalhadas sobre um equipamento e, em alguns casos, contendo comandos de atuação sobre o respectivo dispositivo.

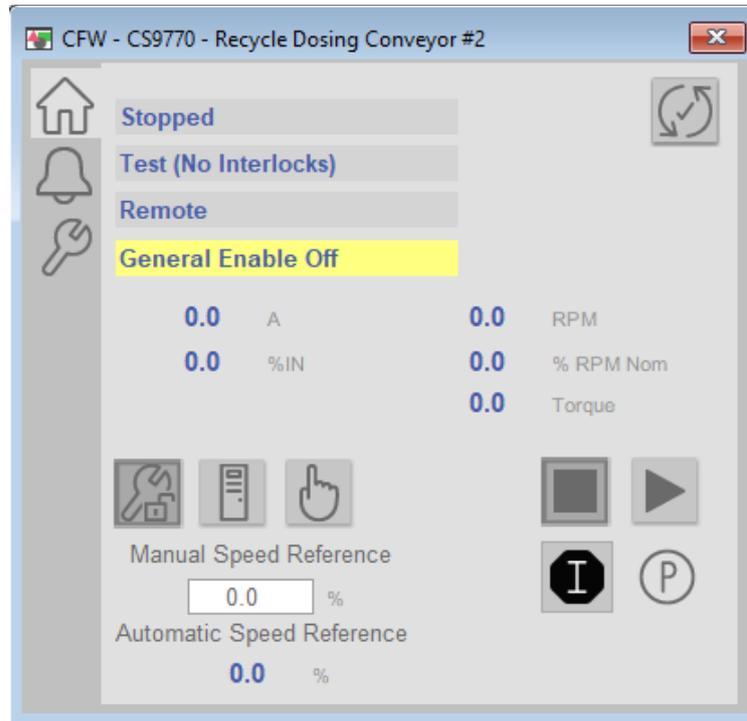
Para fins de licenciamento uma pop-up é considerada uma tela no servidor de IHMs, por este motivo é necessário limitar a quantidade de pop-ups para que o limite da licença utilizada, que é de 100 telas, não seja ultrapassado.

Neste trabalho será necessário a utilização de pop-ups com referências genéricas para garantir a otimização do número de telas utilizadas e também a padronização entre pop-ups de um mesmo equipamento. Isto significa que para cada equipamento será criada uma única pop-up com parâmetros genéricos que serão substituídos pelas variáveis do equipamento selecionado.

As pop-ups serão compostas por três abas principais sendo elas a aba de operação, a aba de alarmes e a aba de configurações. O conteúdo presente em cada aba irá variar de dispositivo para dispositivo. Na barra de título das pop-ups é exposto o tipo do equipamento, o seu nome de identificação e a sua descrição.

Neste projeto estão previstos 20 dispositivos distintos, no qual cada um terá uma pop-up exclusiva. Para não estender este tópico, será abordado a implementação de uma única pop-up, sendo que as demais seguirão a mesma metodologia.

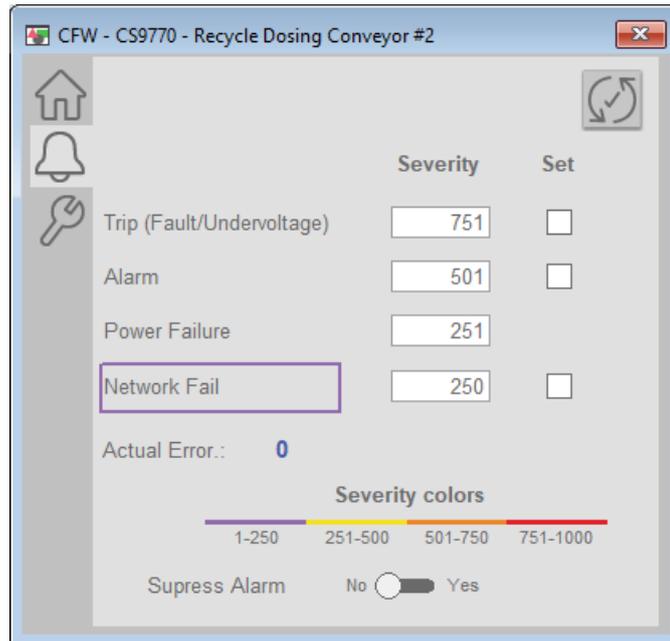
Figura 33 - Aba de operação de um acionamento por inversor de frequência



Fonte: Autor (2021)

Na Figura 33 é mostrado a aba de operação de um acionamento por inversor de frequência. Nesta aba estão localizadas as principais informações referentes ao estado do equipamento, como o modo de operação (modo simulação, automático ou manual) e as leituras analógicas (corrente elétrica, velocidade e torque). A aba também possui botões que são utilizados para selecionar o modo de operação, acionar ou parar o equipamento e verificar as condições de intertravamentos e/ou permissíveis. Neste dispositivo a velocidade de referência também pode ser definida manualmente por meio da aba de operação.

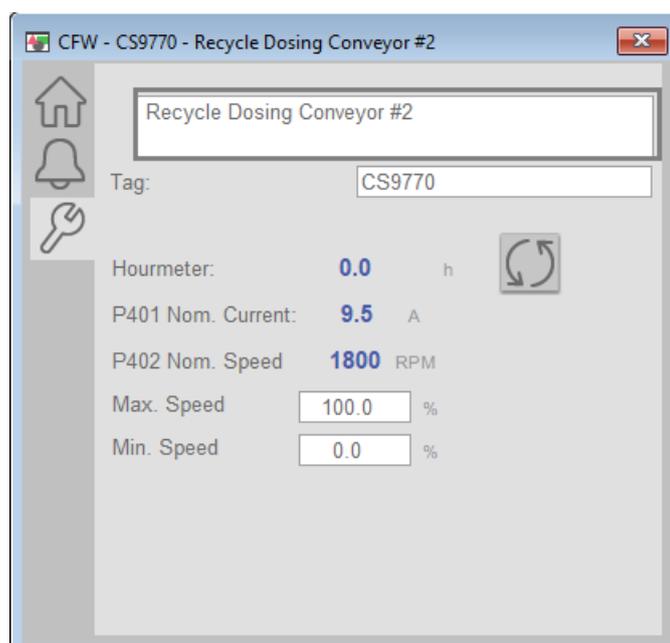
Figura 34 - Aba de alarmes de um acionamento por inversor de frequência



Fonte: Autor (2021)

A Figura 34 apresenta a aba de alarmes de um dispositivo. Nela é possível atribuir a severidade de um alarme de acordo com a sua causa relacionada, ativar a supressão de alarmes e, se estiver disponível, visualizar o código da falha. Neste trabalho será mantido o padrão de severidade apresentado na Figura 34.

Figura 35 - Aba de configuração de acionamento por inversor de frequência



Fonte: Autor (2021)

Por fim, a Figura 35 apresenta a aba de configuração do equipamento. Nesta aba é possível modificar a descrição do equipamento e seu nome de identificação. Em alguns dispositivos também é possível estabelecer limites de operação para determinados parâmetros, como no caso da figura anterior na qual há a possibilidade de limitar a velocidade máxima e mínima motor. Acionamentos em geral também contam com um horímetro que indica o tempo de operação do equipamento.

As abas de configuração só poderão ser modificadas com usuários que possuem permissão de engenharia. Usuários com acesso de operação podem acessar a tela apenas a nível de consulta, não podendo realizar alterações.

4.6 CONFIGURAÇÃO DO SUMÁRIO E HISTÓRICO DE ALARMES E EVENTOS

Os alarmes e eventos são monitorados em maiores detalhes por meio de duas telas, uma delas sendo o sumário e a outra o histórico. Neste tópico será abordada a implementação de cada tela considerando suas características e funcionalidades.

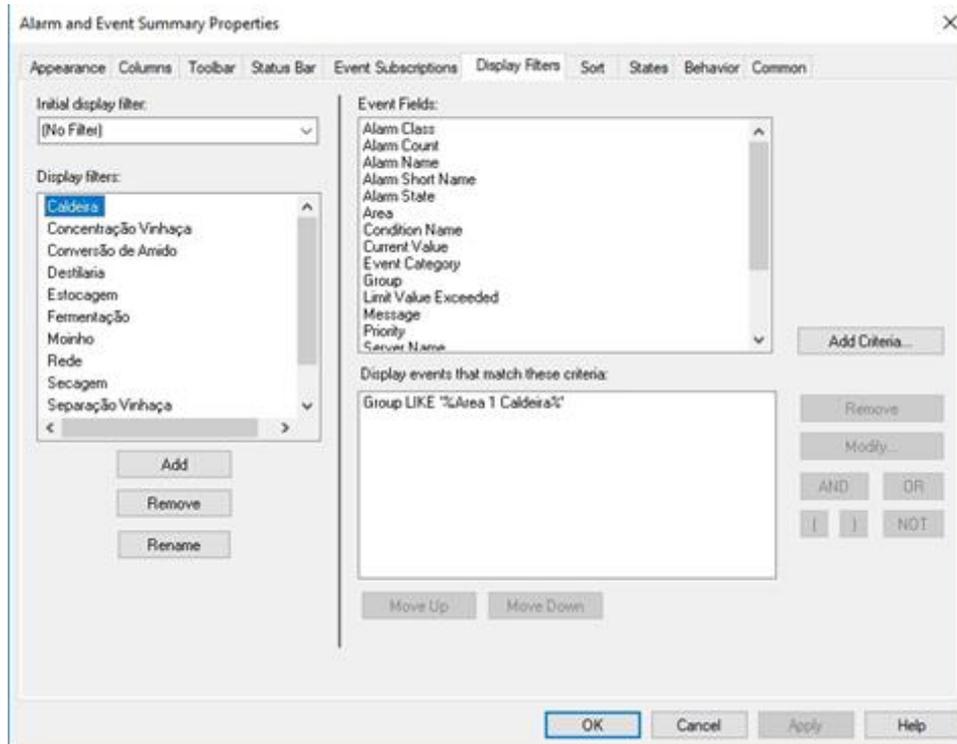
Ambas as telas possuem o mesmo nível de informação com relação aos alarmes e eventos, porém, o sumário irá indicar todos os alarmes ativos em tempo real enquanto o histórico terá acesso a uma base de dados de alarmes e eventos, tendo como funcionalidade a possibilidade de filtrar todos os registros dentro de um período de tempo pré-determinado.

Tanto o sumário quanto o histórico de alarmes e eventos são recursos internos do FactoryTalk View, porém, para que seu funcionamento esteja adequado as necessidades do sistema de supervisão é necessário realizar a configuração destes recursos.

4.6.1 Sumário de Alarmes e Eventos

Neste item serão abordadas as principais configurações do sumário de alarmes e eventos, como filtros, ordenação das indicações e as propriedades de exibição dos alarmes.

Figura 36 - Filtros no sumário de alarmes e eventos

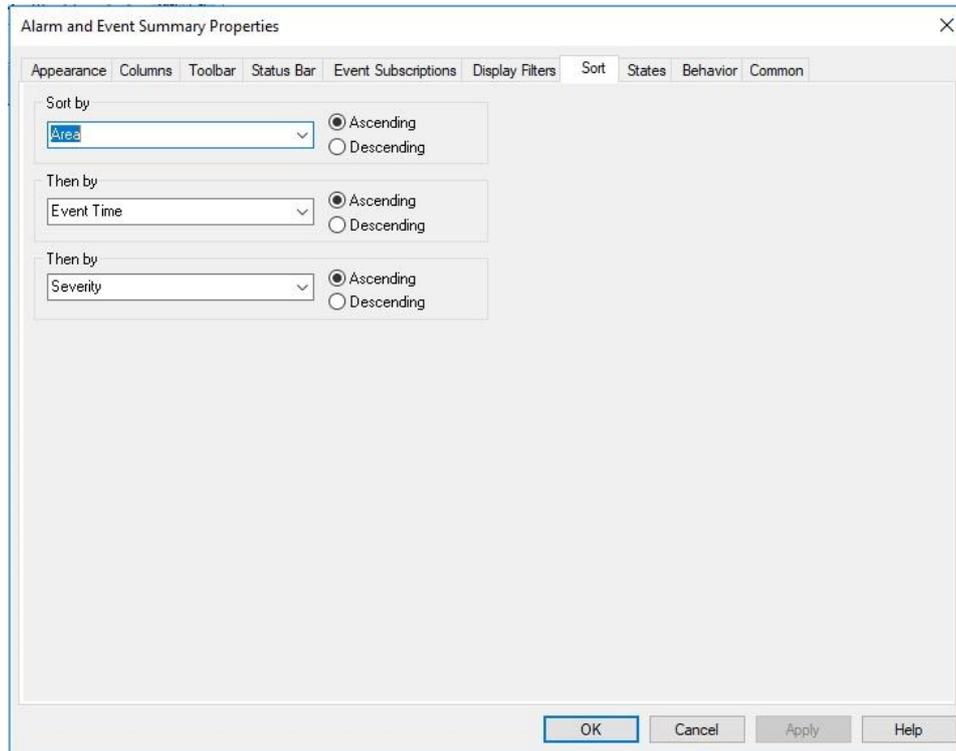


Fonte: Autor (2021)

Na Figura 36 é mostrado a configuração do filtro do sumário. Nesta tela é possível definir qual será o filtro inicial aplicado, adicionar novos filtros e configurar seus critérios de filtragem.

Neste projeto serão utilizados filtros referentes as diferentes áreas do processo, seguindo o mesmo padrão de áreas utilizados no menu de navegação. O critério de filtragem que será utilizado irá levar em consideração o grupo associado ao alarme, conforme declarado no servidor de alarmes e eventos, sendo que cada grupo é, também, referente a uma área do processo.

Figura 37 - Ordenação no sumário de alarmes e eventos

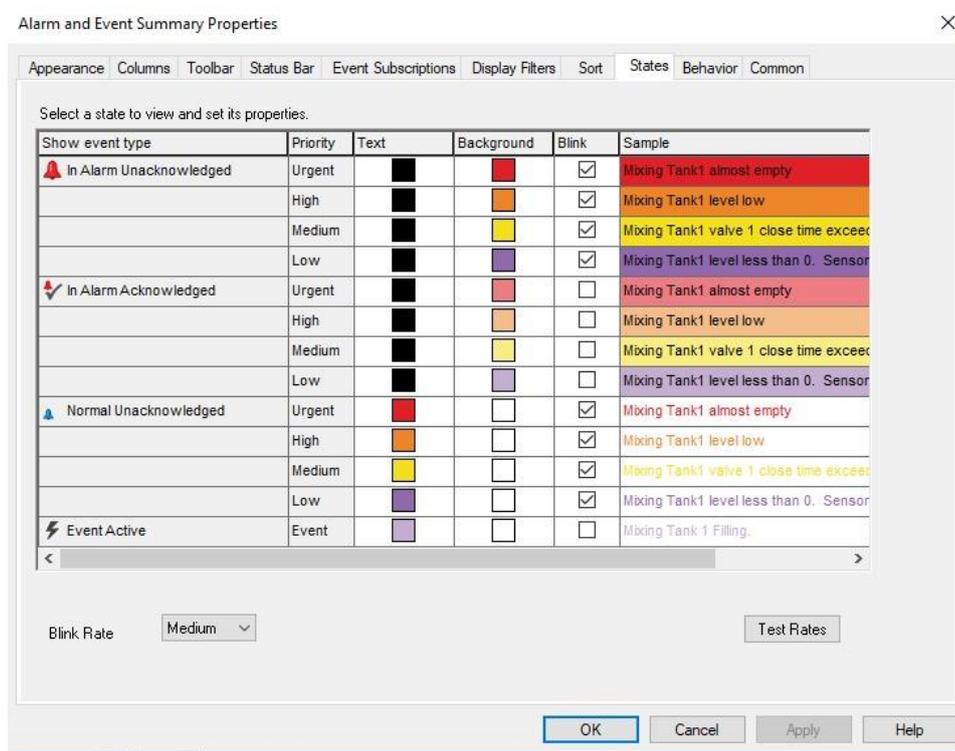


Fonte: Autor (2021)

A ordenação de alarmes e eventos no sumário é realizada através de três critérios, conforme apresentado na Figura 37. Neste trabalho, a sequência de critérios utilizada na ordenação dos alarmes e eventos será pela sua área do processo, pelo horário da ocorrência e pela sua severidade. Esta sequência de ordenação permite que os alarmes e eventos sejam exibidos em agrupamentos de acordo com a sua área, e na ordem de ocorrência.

Para garantir que a severidade dos alarmes não seja ignorada na ordenação, será adotado um esquema de cores que tem por finalidade indicar a prioridade de um alarme e o seu estado.

Figura 38 - Estados de alarmes e eventos



Fonte: Autor (2021)

Na Figura 38 é mostrado a configuração do esquema de cores dos alarmes e eventos de acordo com a sua prioridade. Será utilizado o mesmo padrão de cores de severidade apresentado nos objetos globais, com a cor roxa indicando alarmes de baixa prioridade, amarelo indicando média prioridade, laranja indicando alta prioridade e vermelho para alarmes de prioridade máxima.

Alarmes ativos que não foram marcados pelo operador serão apresentados com cores mais fortes e irão piscar com frequência média. Já os alarmes marcados serão mostrados em tons mais desbotados e não irão possuir animações de pisca.

Para os eventos o padrão de cores será aplicado apenas ao texto, com o objetivo de dar menor destaque a estes. Isto deve-se ao fato de que os eventos estão associados a ocorrências de baixa prioridade, geralmente relacionadas a um alarme equivalente.

4.6.2 Histórico de Alarmes e Eventos

A tela de histórico de alarmes e eventos mantém as propriedades da tela de sumário, como as cores referentes aos estados de alarmes e eventos, porém, seu principal recurso é um

filtro que possibilita visualizar todas as ocorrências de alarmes e eventos dentro de um período de até seis meses a partir da data de consulta.

Através do filtro é possível definir a data e hora inicial da consulta e restringir a consulta em intervalos, áreas e/ou tipos de ocorrências, neste caso alarmes ou eventos.

A implementação deste filtro tem por objetivo otimizar as consultas ao restringir o conteúdo pesquisado, tornando a pesquisa mais rápida e assertiva. Neste projeto o filtro utilizado é originário de outro projeto e foi apenas adaptado com as opções de consulta adequadas a este trabalho.

Figura 39 - Filtro do histórico de alarmes e eventos

Fonte: Autor (2021)

Na Figura 39 é mostrada a visão geral do filtro, no qual é possível determinar a data e hora inicial da consulta, o intervalo de tempo consultado e o tipo da ocorrência.

A implementação do filtro é feita em linguagem VBA (Visual Basic for Applications), sendo que a adaptação realizada é referente a filtragem da área do processo.

Figura 40 - Filtros de área para o histórico de alarmes e eventos

```
'#####
'#####
'ÁREA DE CONFIGURAÇÃO DO USUÁRIO - INSERÇÃO DAS ÁREAS DE ALARMES
'NO ComboBoxArea PODE SER ACRESCENTADO MAIS OPÇÕES
'#####
ComboBoxArea.Clear
ComboBoxArea.AddItem "Caldeira", 0
ComboBoxArea.AddItem "Turbina Gerador", 1
ComboBoxArea.AddItem "Moinho", 2
ComboBoxArea.AddItem "Conversão de Amido", 3
ComboBoxArea.AddItem "Fermentação", 4
ComboBoxArea.AddItem "Concentração de Vinhaça", 5
ComboBoxArea.AddItem "Destilaria", 6
ComboBoxArea.AddItem "Estocagem", 7
ComboBoxArea.AddItem "Separação de Vinhaça", 8
ComboBoxArea.AddItem "Água e Químicos", 9
ComboBoxArea.AddItem "Secagem", 10
ComboBoxArea.AddItem "Rede", 11
'#####
'#####
'FIM DA ÁREA DE CONFIGURAÇÃO DO USUÁRIO
'#####
'#####
```

Fonte: Autor (2021)

A Figura 40 apresenta a adequação realizada no código do filtro que possibilita a seleção da área desejada. No código cada item é adicionado as opções através da função

‘AddItem’, com o nome do item entre aspas duplas, seguido de uma vírgula e do valor numérico referente ao seu índice no menu de seleção.

As demais partes do código realizam as operações necessárias para acessar o banco de dados aplicando os filtros selecionados pelo operador.

5 RESULTADOS

Neste capítulo será apresentado o sistema supervisório completo, com todos os seus recursos implementados e em operação, buscando evidenciar todas as suas funcionalidades e suas principais características.

5.1 VISÃO GERAL DE UM PROCESSO NO SISTEMA SCADA

Com a implementação do sistema SCADA concluída é possível executar o sistema de supervisão e avaliar os resultados obtidos nos diferentes recursos utilizados.

O sistema supervisório deve fornecer ao operador todas as informações necessárias para a operação como dados referentes ao processo, informações claras relacionadas aos alarmes que se encontram ativos e dados específicos de cada equipamento, sejam eles válvulas, motores ou transmissores em geral, viabilizando também a atuação sobre o processo por meio comandos que podem estar na visão geral de supervisão ou então em pop-ups.

Também é necessário que o SCADA possua um menu de navegação entre as diferentes áreas e processos de produção da usina, além de permitir o acesso ao histórico e sumário de alarmes e eventos e a tela de gráficos de processo.

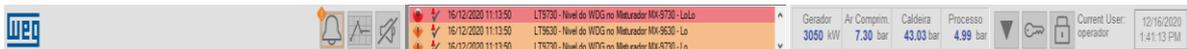
Neste tópico será abordado a visão geral do processo de secagem para exemplificar a visão geral de uma tela de supervisão referente a um processo, sendo que as demais áreas de produção possuirão as mesmas características.

Na Figura 41 é mostrada a tela de visão geral do processo do secador 1, pertencente a área de secagem, na qual nela estão contidos vários recursos que foram discutidos na etapa de implementação do SCADA, como menu geral, menu de navegação e a visão geral do processo. Os subtópicos seguintes abordarão cada elemento individualmente.

5.1.1 Menu Geral

O menu geral é um elemento comum a todas as telas do sistema supervisório e ao longo desta seção serão avaliados os diferentes recursos implementados.

Figura 42 - Menu geral do supervisório



Fonte: Autor (2021)

Na Figura 42 é apresentado o menu geral completo em que estão localizados, da esquerda para a direita, a logo da empresa responsável pelo SCADA, botões para acessar o sumário de alarmes e eventos, a tela de gráficos do processo e o comando para calar a sirene da usina, na sequência está a lista de alarmes ativos de acordo com a tela selecionada, os valores gerais de processo da usina, comandos de acesso e informações do usuário e a data e hora local.

O sumário de alarmes com filtro por área, presente no menu geral tem como objetivo apresentar todos os alarmes ativos dentro da área selecionada, ordenando-os de acordo com a sua severidade, no qual por meio de uma barra de rolamento localizada à direita, é possível percorrer toda a lista de alarmes ativos. Neste sumário é indicado a hora da ocorrência, a sua severidade, o equipamento afetado e uma breve descrição do alarme.

Figura 43 - Sumário de alarmes com filtro aplicado para a área de secagem

🔴	🔴	16/12/2020 11:13:50	LT9730 - Nivel do WDG no Misturador MX-9730 - LoLo	⬆
🟡	🟡	16/12/2020 11:13:50	LT9630 - Nivel do WDG no Misturador MX-9630 - Lo	⬆
🟡	🟡	16/12/2020 11:13:50	LT9730 - Nivel do WDG no Misturador MX-9730 - Lo	⬆

Fonte: Autor (2021)

Na Figura 43 é possível visualizar os alarmes ativos na área de secagem, sendo que o alarme de maior severidade se encontra na parte superior da lista. É importante notar que os alarmes indicados são referentes a todos os processos pertencentes à área selecionada, e não somente ao processo selecionado, que neste caso é o secador 1 conforme mostrado na Figura 41.

5.1.2 Menu de Navegação

Assim como o menu geral, o menu de navegação também é um elemento comum a todas as telas do sistema supervisório.

O menu de navegação conta com duas barras, superior e inferior, que possibilitam a navegação entre as diferentes telas do SCADA. Na barra superior estão botões referentes as áreas da usina e também atalhos para telas com informações gerais, como totalizadores e a tela de rede. Já na barra inferior estão localizados botões para os diferentes processos englobados por uma área.

Cada botão conta com um indicador de alarme, no qual a área irá indicar a maior severidade de alarme ativo entre seus processos, e o processo irá indicar o alarme de maior severidade ativo dentre os dispositivos presentes na tela.

Figura 44 - Menu de navegação com indicação de alarmes



Fonte: Autor (2021)

Através da Figura 44 é possível notar o realce dado a área selecionada, neste caso a secagem, e também do processo secador 1. Também é possível verificar que a severidade de alarme indicada na área de secagem é proveniente de um alarme ativo no processo do secador 2, enquanto que o alarme ativo no secador 1 possui uma severidade menor.

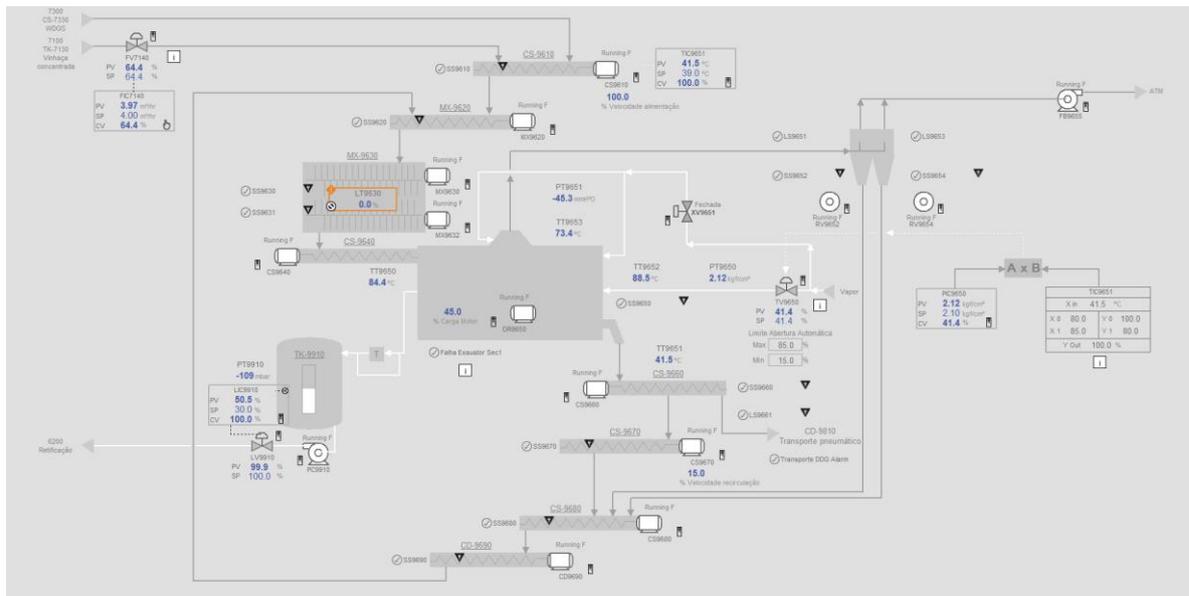
5.1.3 Visão Geral do Processo

Por meio das telas de visão geral do processo o operador pode operar e monitorar as diferentes áreas e processos da usina, tendo a sua disposição todos os recursos necessários como indicadores de alarmes nos dispositivos, dados referentes aos diversos tipos de

equipamentos utilizados, pop-ups contendo informações detalhadas de cada dispositivo e também comandos de atuação, além de desenhos que possibilitam visualizar o fluxograma do processo e identificar o local aproximado de cada elemento.

Nesta seção serão abordados os aspectos funcionais e visuais da tela de visão geral do processo, indicando o modo como os objetos são utilizados, as suas indicações e também seus pop-ups.

Figura 45 - Visão geral do processo do secador 1



Fonte: Autor (2021)

A Figura 45 apresenta a visão geral do processo referente ao secador 1. Nela é possível perceber a presença de diversos dispositivos que são representados por meio de objetos globais. A tela também conta com detalhes estruturais simplificados e indicações do fluxo do processo.

Analisando a tela apresentada na Figura 45 é possível visualizar o estado de todos os equipamentos e os valores de processo adquiridos por meio de transmissores. Nota-se que todos os motores e bombas estão ligados, o que é representado pela cor branca nos objetos globais. Também é possível verificar o nível de preenchimento do tanque TK-9910 por meio de um gráfico em barra. Outras indicações incluem a abertura em porcentagem de válvulas e a leitura de diferentes dados do processo.

5.1.3.1 Aspectos estruturais

Dentre os aspectos estruturais que compõem as telas de visualização de um processo estão a representação de tubulações e o desenho da estrutura física do processo.

A representação das tubulações, a qual também é utilizada para definir a direção do fluxo, se utiliza da norma NBR 7485 para indicar o tipo de material presente na tubulação, como a cor branca para vapor, verde para água de processo, laranja para ácidos, entre outras. Neste trabalho a cor cinza foi utilizada para representar materiais que não são englobados pela norma (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 7485, 1994).

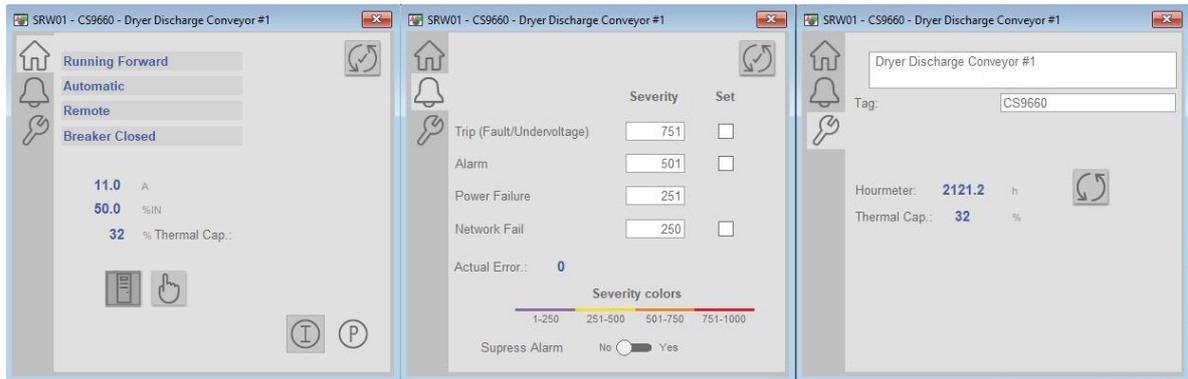
Na Figura 45 em questão é utilizada apenas a cor branca para indicar tubulações de vapor, já as linhas cinzas indicam o fluxo do farelo de milho úmido que, ao ser processado, será transformado em DDG.

Também é possível verificar através da Figura 45 os desenhos estruturais do processo, como esteiras e tanques. Estes desenhos são caracterizados por possuírem poucos detalhes e pelo uso de cores neutras, neste caso a cor cinza, conforme as diretrizes estabelecidas para IHMs de alta performance. Os desenhos estruturais são complementados com o uso de objetos globais que referenciam motores, válvulas e transmissores em geral, fornecendo assim maiores detalhes sobre o estado do equipamento em um dado momento.

5.1.3.2 Aspectos funcionais

Os aspectos funcionais englobam toda função que possibilite monitorar e/ou operar os dispositivos presentes na tela. Neste trabalho a operação é feita, de um modo geral, por meio de pop-ups que possuem os comandos necessários para acionar, desligar ou configurar um determinado equipamento. As pop-ups podem ser acessadas através da seleção do equipamento que se deseja operar ou monitorar.

Figura 46 - Pop-up para monitoramento e operação do motor CS9660



Fonte: Autor (2021)

A Figura 46 apresenta as três abas da pop-up referente ao motor identificado como CS9660. Da esquerda para a direita estão a aba geral, a aba de alarmes e a aba de configuração e manutenção.

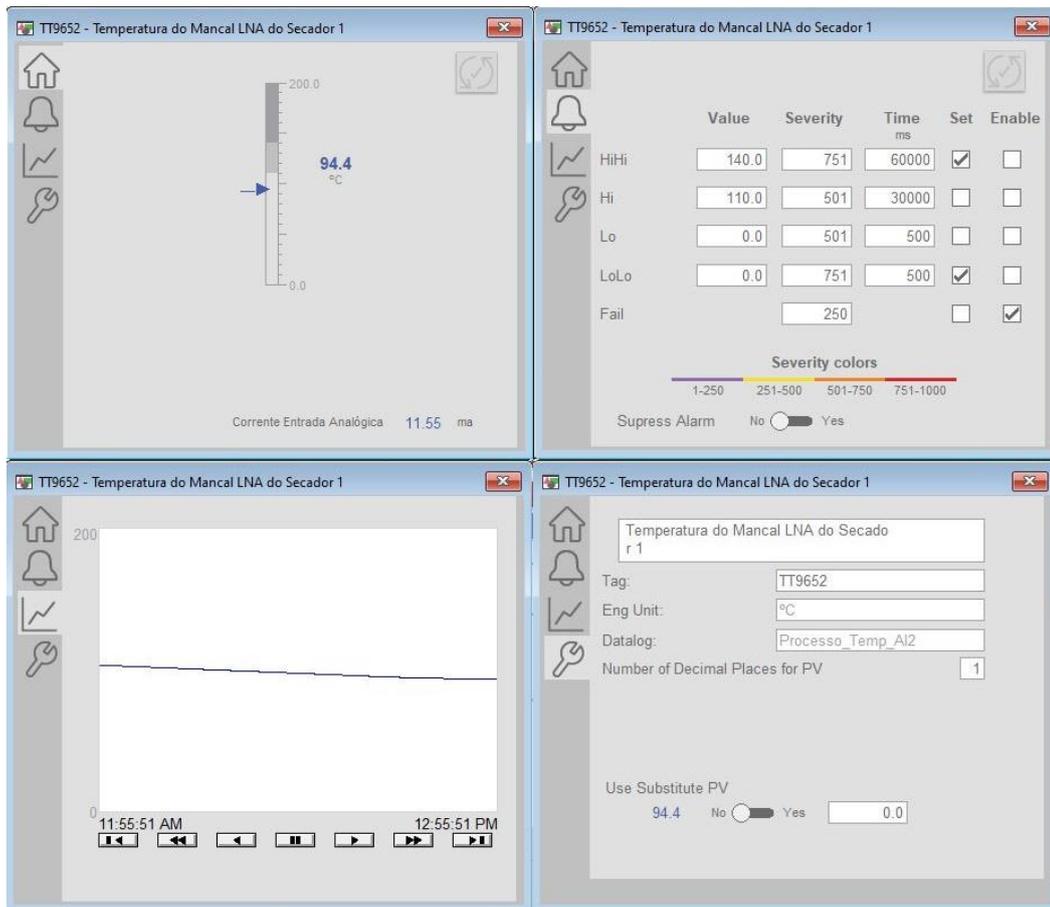
Na aba geral é possível monitorar as condições de operação e intertravamentos do motor e também selecionar o seu modo de operação (manual ou automático).

A aba de alarmes é utilizada apenas para obtenção do código de erro para consulta ao manual, caso exista alguma falha ativa. As configurações de nível de severidade e supressão de alarmes requerem usuário com acesso de engenharia e são utilizadas apenas para execução de testes.

Por fim, a aba de manutenção possibilita alterar a identificação do equipamento e sua descrição. No caso de motores também existem horímetros que são utilizados para o planejamento de rotinas de manutenção e indicadores da capacidade térmica do motor. Assim como a aba de alarmes, a aba de manutenção também requer usuário com acesso de engenharia para realizar edições.

As informações disponibilizadas nas pop-ups irão variar entre os diferentes tipos de equipamentos, com o objetivo de fornecer todos os dados relevantes de um dispositivo para auxiliar na operação e supervisão do processo. Ao todo foram desenvolvidas 25 pop-ups diferentes que englobam todos os tipos de equipamentos utilizados na usina como válvulas, transmissores digitais e analógicos, disjuntores, relés de proteção e acionamentos.

Figura 47 - Pop-up do transmissor de temperatura TT9652



Fonte: Autor (2021)

Na Figura 47 é mostrada a pop-up referente ao transmissor de temperatura TT9652, também presente no processo indicado na Figura 45. Nela pode-se perceber as diferenças das informações disponibilizadas entre pop-ups quando a comparamos com pop-up mostrada na Figura 46 como o uso de gráfico em barra para indicar os limites de operação, a existência de uma nova aba mostrando o histórico de leitura em forma gráfica além de opções diferentes para as abas de manutenção e alarmes.

5.2 VALIDAÇÃO DO SISTEMA SCADA

A validação do sistema SCADA foi realizada em duas etapas. Na primeira etapa os testes foram realizados através da comunicação entre os CLPs e o sistema SCADA com o objetivo de verificar se todos os instrumentos indicados em tela estavam corretamente referenciados e se comportavam conforme o esperado através da simulação de valores e comandos.

Já na segunda etapa de validação os testes foram realizados em campo, durante o comissionamento do sistema de automação da usina. Nesta etapa a verificação teve por finalidade confirmar a comunicação entre os CLP, o sistema SCADA e os dispositivos englobados pelo sistema, auxiliando na parametrização dos equipamentos e verificação das instalações elétricas, realizando ajustes via supervisor quando necessário.

Ao todo foram validados 382 dispositivos E/S analógicos, 570 dispositivos E/S digitais e 217 acionamentos. Os testes foram realizados em cooperação com técnicos de instrumentação e eletricitas.

As telas de supervisão também foram validadas durante o comissionamento com base nas informações adquiridas de operadores e supervisores de produção. Ao todo foram desenvolvidas 57 telas de operação e supervisão e 25 pop-ups para equipamentos, além das telas auxiliares utilizadas para implementar recursos como o menu de navegação e o menu geral.

5.3 ANÁLISE DA METODOLOGIA DE IMPLEMENTAÇÃO ADOTADA

Neste tópico serão discutidas as vantagens e desvantagens da metodologia de implementação do sistema SCADA adotada neste trabalho, com destaque para a implementação dos objetos globais e das pop-ups.

A principal característica funcional que será analisada está relacionada com o uso de referências genéricas para os objetos globais e pop-ups, o que possibilita adquirir, por meio do CLP, todas as informações de um dispositivo utilizando apenas seu código identificador.

5.3.1 Vantagens da Metodologia de Implementação

Para a implementação dos objetos globais e das pop-ups foram utilizadas referências genéricas em todas as suas animações e indicações. Estas referências foram elaboradas de modo a espelhar a estrutura construída dentro dos CLPs para cada um dos dispositivos. Deste modo, apenas com o código de identificação do equipamento é possível acessar a sua estrutura no CLP e adquirir todas as informações do dispositivo.

Deste modo é possível utilizar um único objeto e pop-up para múltiplos instrumentos, desde que estes possuam uma mesma estrutura dentro do CLP. Com isto é possível economizar tempo durante a etapa de desenvolvimento ao eliminar a necessidade de

criar objetos e pop-ups individuais para cada equipamento, além de garantir maior manutenibilidade ao sistema supervisorio, evitando grandes transtornos toda vez que uma pequena alteração ou ajuste for necessário. Esta vantagem se mostra mais expressiva quando considerado o volume de instrumentos presentes no projeto, com um total de 1169 dispositivos referenciados em objetos globais e pop-ups.

As referências genéricas também foram utilizadas na elaboração das descrições referentes aos alarmes. Ao todo foram criados 9455 alarmes e 544 descrições, no qual a implementação das mensagens descritivas seguiu o mesmo princípio de reutilização implementado nos objetos globais e pop-ups.

O uso da metodologia de interfaces homem-máquina de alto desempenho também traz como uma vantagem inerente a manutenibilidade visto que a ausência de detalhes excessivos resulta em uma maior facilidade e velocidade para realização de alterações e adequações no sistema supervisorio. Outra vantagem está atrelada a operação ao evidenciar apenas informações relevantes do processo em um dado instante, sendo que as demais informações são apresentadas com baixo contraste entre si.

5.3.2 Desvantagens da Metodologia de Implementação

As referências genéricas utilizadas na implementação das pop-ups, dos objetos globais e dos alarmes trazem consigo muitas vantagens tanto a nível de projeto quanto a nível de operação, porém há desvantagens que devem ser consideradas durante a implementação a fim de evitar transtornos que podem afetar tanto o tempo de desenvolvimento quanto o tempo necessário para realizar manutenções no software.

O uso de referências genéricas e a concatenação de muitos recursos e atributos diferentes para um único ou pop-up implica em uma maior complexidade, sendo necessário ter conhecimento sobre as estruturas utilizadas tanto no CLP quanto no sistema supervisorio para realizar alterações e adequações. Como tanto os objetos quanto as pop-ups são utilizados em múltiplos equipamentos, alterações que não são adequadas podem resultar na perda de funcionalidades do objeto ou na redução da qualidade das informações disponibilizadas.

Além do conhecimento necessário para execução das modificações, também é recomendado a realização de backups frequentes, tendo em vista a possibilidade de corrompimento dos arquivos das pop-ups ou da biblioteca de objetos globais, o que pode resultar na impossibilidade de operação de diversos dispositivos via sistema supervisorio.

6 CONCLUSÃO

Este trabalho teve por finalidade implementar um sistema SCADA aplicado à supervisão da automação de uma usina produtora de etanol a base de milho utilizando as metodologias de IHMs de alto desempenho operacional.

Acerca dos objetivos específicos, estes foram fundamentais para a estruturação da sequência metodológica e alcance do objetivo geral do presente trabalho.

Conhecer as etapas do processo de produção do etanol a base de milho possibilitou a estruturação do sistema supervisório em áreas e subáreas, viabilizando uma navegação intuitiva entre as telas de supervisão em concordância com o fluxo de produção.

Através da enunciação dos componentes pertencentes a um sistema de automação foi possível definir suas principais características e funcionalidades, além do modo como estes se integram ao projeto, tendo como foco principal o sistema de supervisão.

A descrição das diretrizes de desenvolvimento relacionadas ao projeto de IHMs de alto desempenho operacional serviu de embasamento para construção dos recursos utilizados no sistema supervisório, objetivando auxiliar na operação ao enfatizar informações que devem ser priorizadas, evitando distrações.

Tratando-se da proposição da metodologia de implementação do sistema supervisório, foram estabelecidos todos os recursos necessários para o funcionamento adequado do SCADA, de modo que este esteja de acordo com as especificações de projeto e atenda às necessidades de operação ao disponibilizar todas as informações necessárias de forma precisa e intuitiva.

Por meio da validação do sistema supervisório foi possível realizar a verificação das funcionalidades dos recursos implementados, identificando eventuais pontos de melhoria e consolidando seus respectivos atributos, a fim de garantir maior confiabilidade e segurança à operação por meio do sistema SCADA.

Desta forma, nota-se que o objetivo geral e os específicos foram alcançados com a implementação de um sistema de supervisão conforme a metodologia proposta, seguindo as diretrizes aplicadas a IHMs de alto desempenho, as especificações de projeto e as necessidades de operação da usina.

Para trabalho futuro sugere-se o estudo e a implementação de lógicas de controles em CLPs, buscando otimizar as informações disponibilizadas para sistemas SCADA, garantindo maior manutenibilidade, confiabilidade e segurança ao sistema de automação.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 7485; **Emprego de cores para identificação de tubulações em usinas e refinarias de açúcar e destilarias de álcool**. Rio de Janeiro, 1994.

ATALA, D. I. P. **Montagem, instrumentação, controle e desenvolvimento experimental de um processo fermentativo extrativo de produção de etanol**. 2004. 172 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

AUTOMATIONDIRECT. **PLC handbook**: Practical guide to programmable logic controllers. Disponível em: <<https://library.automationdirect.com/plc-handbook/>>. Acesso em: 11 abr. 2020.

BELLIARDI, R.; NEUBERT, R. Modbus protocol. In: ZURAWSKI, Richard (ed.). **Industrial communication technology handbook**. 2. ed. San Francisco: CRC Press, 2015. Cap. 10. p. 1-34.

BOLTON, W. **Programmable logic controllers**. 6. ed. Cambridge, Ma: Elsevier, 2015. 424 p.

BRYAN, L. A.; BRYAN, E. A. **Programmable controllers: Theory and implementation**. 2. ed. Atlanta: Industrial Text Company, 1997. 1035 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**: safra 2019/2020, terceiro levantamento. Brasília: Conab. 2019. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>>. Acesso em: 23 mar. 2020.

_____. **Diagnóstico da produção de etanol em Mato Grosso**: Binômio cana-de-açúcar/milho. Brasília: Conab. 2018. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/institucional/publicacoes/compendio-de-estudos-da-conab>>. Acesso em: 23 mar. 2020.

COPE, K. **What is the automation pyramid?** Automation pyramid is a pictorial example of the different levels of automation in a factory. 2018. Disponível em: <<https://realpars.com/automation-pyramid/>>. Acesso em: 01 abr. 2020.

CSB AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL. **Painel CLP**. Disponível em: <https://csbautomacao.com.br/produtos/programacaoclp/>. Acesso em: 20 set. 2020.

DONKE, A. C. G. et al. **Usina flex: comparação dos desempenhos ambiental e energético do etanol de cana-de-açúcar, milho e sorgo**. Fortaleza: set. 2016. In: V CONGRESSO BRASILEIRO EM GESTÃO DO CICLO DE VIDA. **Anais....** Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/155689/1/2016AA24.pdf>>. Acesso em: 22 mar. 2020.

FARINAS, C. S.; MARTIN NETO, L.; GIORDANO, R. C. **Instrumentação e automação na agroindústria da cadeia cana-etanol**. In: BIOETANOL da cana-de-açúcar: P&D para produtividade sustentável. São Paulo: Blucher, 2010. p. 601-618.

GOEKING, W. Da máquina a vapor aos softwares de automação. **O setor elétrico**, São Paulo, p.77-77, maio 2010. Disponível em: <<https://www.osetoelettrico.com.br/da-maquina-a-vapor-aos-softwares-de-automacao/>>. Acesso em: 31 mar. 2020.

GOETZ, H. F. **Metodologia para desenvolvimento de IHMs de alta performance visual**. 2019. Disponível em: <https://kb.elipse.com.br/metodologia-para-desenvolvimento-de-ihms-de-alta-performance-visual/>. Acesso em: 31 maio 2020.

GROOVER, M. P. **Automação industrial e sistemas de manufatura**. 3. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011. 581 p.

HÖFER, R. Sugar and Starch-Based Biorefineries. In: PANDEY, A. et al (ed.). **Industrial biorefineries & white biotechnology**. Cambridge, MA: Elsevier, 2015. p. 157-235.

HOLLIFIELD, B. **The high performance HMI**: process graphics to maximize operator effectiveness. Process graphics to maximize operator effectiveness. 2012. Disponível em: <https://www.isa.org/standards-publications/isa-publications/intech-magazine/2012/december/system-integration-the-high-performance-hmi/>. Acesso em: 31 maio 2020.

INSTRUMENTAÇÃO E CONTROLE. **A pirâmide da automação industrial**. Disponível em: <https://instrumentacaoecontrole.com.br/piramide-da-automacao-industrial/>. Acesso em: 01 abr. 2020.

INTERNATIONAL SOCIETY OF AUTOMATION (Carolina do Norte). **ISA95, Enterprise-Control System Integration**. Disponível em: <https://www.isa.org/standards-and-publications/isa-standards/isa-standards-committees/isa95>. Acesso em: 08 nov. 2020.

KÜÜT, A. et al. State of the art on the conventional processes for ethanol production. In: BASILE, A. et al (ed.). **Ethanol: science and engineering**. 2. ed. Cambridge, MA: Elsevier, 2019. p. 61-101.

MEHTA, B. R.; REDDY, Y. J. **Industrial process automation systems: design and implementation**. Cambridge, Ma: Elsevier, 2015. 668 p.

MODICON. **Modicon modbus protocol reference guide**. North Andover, Massachusetts: Modicon, 1996.

MORAES, C. C.; CASTRUCCI, P. L. **Engenharia de automação industrial**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010. 360 p.

MOSIER, N. S.; ILELEJI, K. E. How fuel ethanol is made from corn. In: DAHIYA, A. (ed.). **Bioenergy: biomass to biofuels**. 1. ed. Cambridge, Ma: Elsevier, 2014. p. 379-384.

MURRELEKTRONIK. **Quais são os tipos de redes industriais?** 2018. Disponível em: <http://blog.murrelektronik.com.br/quais-sao-os-tipos-de-redes-industriais/>. Acesso em: 23 abr. 2020.

ROCKWELL AUTOMATION. **RSView32 to FactoryTalk View SE modernization**. Milwaukee: Rockwell Automation, 2020. 37 p. Disponível em: https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/qr/ftalk-qr004_-en-p.pdf. Acesso em: 24 fev. 2021.

_____. **Factorytalk view site edition installation guide**. Milwaukee: Rockwell Automation, 2020. 83 p. Disponível em: https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/viewse-in003_-en-e.pdf. Acesso em: 26 fev. 2021.

ROGGIA, L.; FUENTES, R. C. **Automação industrial**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2016. 102 p.

SHARMA, K. L. S. **Overview of industrial process automation**. 2. ed. Bangalore: Elsevier, 2016. 492 p.

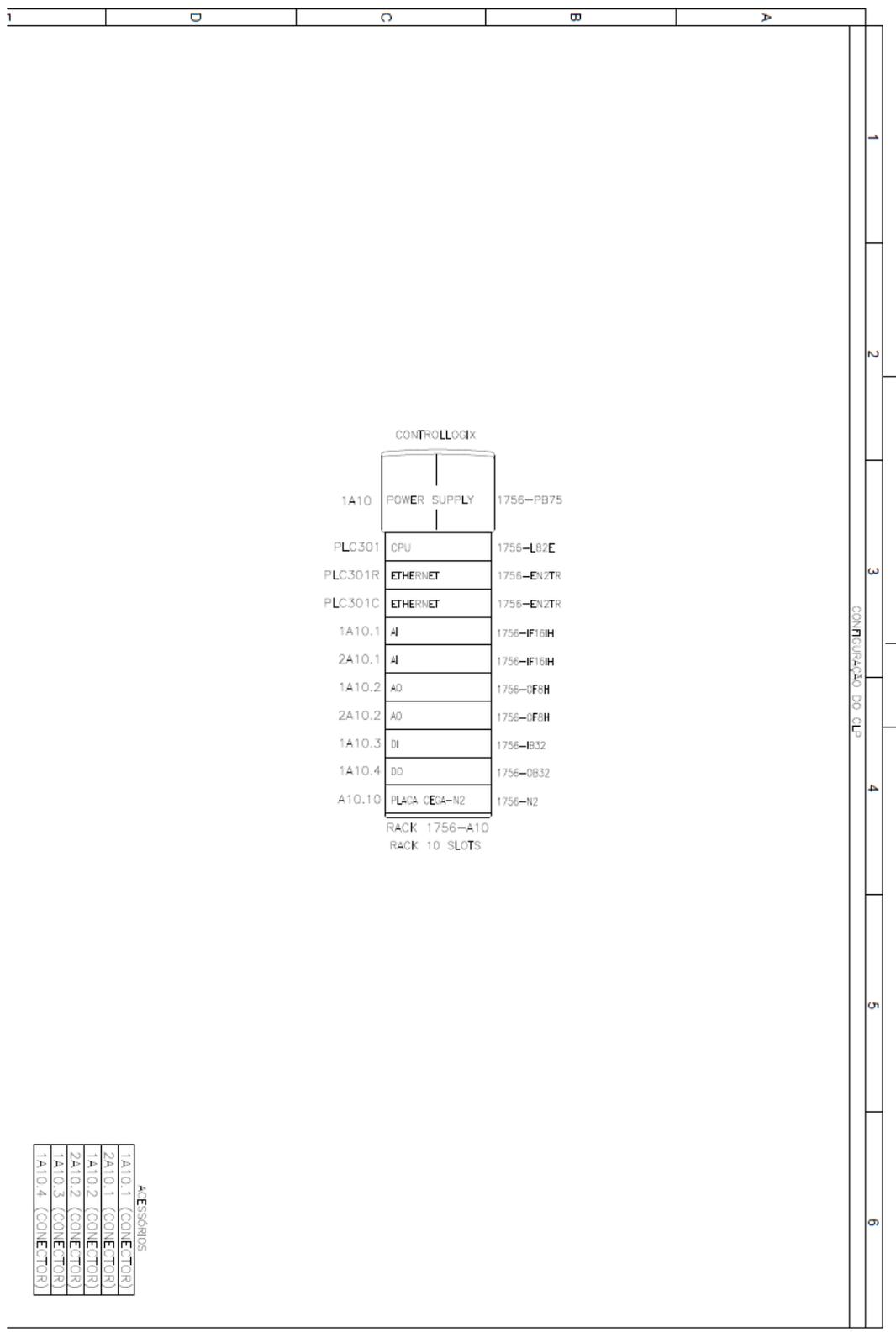
SILVEIRA, L; LIMA, W. **Um breve histórico conceitual da automação industrial e redes para automação industrial**. Departamento de Engenharia de Computação e Automação, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2003. Disponível em: https://www.dca.ufrn.br/~affonso/FTP/DCA447/trabalho1/trabalho1_13.pdf. Acesso em: 12 abr. 2020.

UNIÃO NACIONAL DA BIOENERGIA. **Produção de etanol de milho deve atingir 2,5 bilhões de litros em 2020**. 2019. Disponível em: <<https://www.udop.com.br/noticia/2019/10/29/producao-de-etanol-de-milho-deve-atingir-2-5-bilhoes-de-litros-em-2020.html>>. Acesso em: 23 mar. 2020.

WILES, J. **Techno security's guide to securing scada**: a comprehensive handbook on protecting the critical infrastructure. Rockland: Syngress, 2008. 352 p.

YAMAGUCHI, M. Y. **Sincronização das bases de tempos de clps distribuídos numa rede de automação de processo industrial**. 2006. 142 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

ANEXO A - Diagrama Unifilar com Configuração do CLP



ANEXO C - Diagrama Unifilar com Distribuição de E/S

