



CEFET-MG

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
UNIDADE ARAXÁ**

LAYARA BERTOLDO RIBEIRO

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA SUPERVISÓRIO PARA PLANTA
DIDÁTICA SMAR PD3 COM BASE NA NORMA ISA 101**

ARAXÁ/MG

2025

LAYARA BERTOLDO RIBEIRO

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA SUPERVISÓRIO PARA PLANTA DIDÁTICA
SMAR PD3 COM BASE NA NORMA ISA 101**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Unidade Araxá, como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Automação Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Frederico D. Fagundes

Coorientador: Prof. Dr. Luis Paulo Fagundes

ARAXÁ/MG

2025

ANEXO VII

ATA DE DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE ENGENHARIA DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL DO(A) ALUNO(A)

LAYARA BERTOLDO RIBEIRO

Às **20 horas e 50 minutos** horas do dia **15 de julho de 2025**, reuniu-se, no Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET-MG - Campus Araxá, a Comissão Examinadora de Trabalho de Conclusão de Curso para julgar, em exame final, o trabalho intitulado **Desenvolvimento de Sistema Supervisório para Planta Didática SMAR PD3 com base na Norma ISA 101**, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel(a) em Engenharia de Automação Industrial. Abrindo a sessão, o(a) Presidente da Comissão, Prof.(a) **Frederico Duarte Fagundes**, após dar a conhecer aos presentes o teor das Normas Regulamentares do Trabalho Final, concedeu a palavra ao(à) candidato(a), **Layara Bertoldo Ribeiro**, para a apresentação de seu trabalho. Após a apresentação, seguiu-se a arguição pelos examinadores, com a respectiva defesa do(a) candidato(a). Ultimada a arguição, a Comissão se reuniu, sem a presença do(a) candidato(a) e do público, para julgamento e expedição do resultado final. Após a reunião da Comissão Examinadora, o(a) candidato(a) foi considerado(a): APROVADA, obtendo nota final de: 95 /100 (NOVENTA E CINCO pontos). O resultado final foi comunicado publicamente ao(à) candidato(a) pelo(a) Presidente da Comissão. O(A) aluno(a), abaixo assinado(a), declara que o trabalho ora identificado é da sua autoria material e intelectual, excetuando-se eventuais elementos, tais como passagens de texto, citações, figuras e datas, desde que as mesmas identifiquem claramente a fonte original, explicitando as autorizações obtidas dos respectivos autores, quando necessárias. Declara ainda, neste âmbito, não violar direitos de terceiros. Nada mais havendo a tratar, o(a) Presidente encerrou os trabalhos e lavrou a presente ATA, que será assinada por todos os membros participantes da Comissão Examinadora.

Araxá, 15 de julho de 2025.

Orientador(a): Frederico Duarte Fagundes

Assinatura: Frederico Duarte Fagundes

Membro da Banca 2: Willian Martins Leão

Assinatura: Willian Martins Leão

Membro da Banca 3: Fabiana Alves Pereira

Assinatura: Fabiana Alves Pereira

Membro da Banca 4 (se houver):

Assinatura: _____

Aluno(a): Layara Bertoldo Ribeiro

Assinatura: Layara B. Ribeiro

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais — à minha mãe, que esteve presente em cada passo, sendo meu alicerce, minha fortaleza e meu maior exemplo, minha vó e minha irmã sustentando-me mesmo nos dias mais difíceis, e à memória do meu pai e da minha tia, que, mesmo ausentes, continuam sendo minha inspiração. Ao meu companheiro de vida, que compartilhou comigo apoio e coragem nos momentos difíceis. Dedico também aos meus colegas de faculdade, trabalho, e aos professores do CEFET, que foram essenciais para a concretização deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por ser minha luz nos momentos de incerteza, por me conceder força, sabedoria e serenidade ao longo desta jornada.

Aos meus pais, minha base e maior exemplo de amor e dedicação. À minha mãe Lucimar, que sempre esteve ao meu lado, com amor incondicional e apoio inabalável. Ao meu pai Adolfo e à minha tia Luciana, em memória, cuja ausência física jamais apagará a presença viva em meu coração. Levo comigo os ensinamentos, o orgulho e o carinho que sempre me dedicaram. À minha irmã Lara e à minha avó Diomara Regina, por todo o afeto, orações e incentivo que me fortaleceram ao longo do caminho. E, ao meu companheiro de vida, Pedro, por estar ao meu lado a todo momento, nas conquistas mais importantes.

Aos amigos de faculdade e aos colegas de trabalho, por tornarem essa caminhada mais leve. Em especial, agradeço ao meu parceiro de trabalho Gabriel, por seu companheirismo diário e apoio em todos os momentos difíceis e nos dias mais turbulentos; ao meu supervisor Acreucimar, por confiar em meu potencial, por suas ideias construtivas e pelas oportunidades que tanto contribuíram para meu crescimento pessoal e profissional, e ao Victor, que foi uma das primeiras pessoas a acreditar em minhas habilidades, e com quem aprendi tanto desde os meus primeiros passos no ambiente profissional. Agradeço também ao Carlos Rene, sua presença, apoio no início da minha trajetória e os momentos de leveza tornaram essa caminhada mais confiante.

Por fim, expresso minha profunda gratidão aos professores que marcaram minha formação, em especial ao Professor Dr. Frederico, que me acompanha desde as aulas de 2015 no técnico, e foi o idealizador deste trabalho, cuja orientação foi essencial para a sua realização, e também ao coorientador Professor Dr. Luis Paulo. Aos professores que aceitaram participar dessa banca: Me. Willian e Dra. Fabiana, agradeço por contribuírem e por fazerem parte desse trabalho. A todos que, de alguma forma, contribuíram para esta conquista, meu mais sincero e eterno agradecimento.

"Deixem que o futuro diga a verdade e avalie cada um de acordo com o seu trabalho e realizações. O presente pertence a eles, mas o futuro pelo qual eu sempre trabalhei pertence a mim."

Nikola Tesla

RESUMO

A automação industrial é essencial para o desenvolvimento de processos produtivos mais eficientes, seguros e inteligentes. Nesse contexto, o uso de plantas didáticas em ambientes educacionais contribui significativamente para a formação prática dos futuros profissionais da área. A planta didática SMAR PD3, presente no campus Araxá do CEFET-MG, é utilizada em disciplinas como Controle, Instrumentação e Sistemas Supervisórios. Observa-se, entretanto, a oportunidade de aprimoramento no sistema supervisório atualmente utilizado, especialmente quanto à atualização tecnológica e à adoção de boas práticas normativas. Diante disso, o presente trabalho teve como objetivo desenvolver um novo sistema supervisório para essa planta com base nas diretrizes da norma ISA 101, que orienta o desenvolvimento de Interfaces Homem-Máquina mais eficazes, seguras e padronizadas. O sistema foi implementado utilizando a versão educacional da plataforma AVEVA, permitindo maior acessibilidade para fins didáticos. A metodologia incluiu a análise do sistema supervisório existente, o estudo dos requisitos da norma ISA 101 e a criação de novas interfaces seguindo seus princípios. O resultado foi um sistema mais organizado e intuitivo, que favorece a compreensão dos processos e amplia o potencial pedagógico da planta. A aplicação da norma contribuiu para o alinhamento do ambiente acadêmico com padrões utilizados na indústria, promovendo uma experiência de aprendizado mais rica e atualizada para os alunos. O trabalho reforça a importância de se integrar recursos educacionais modernos às práticas de ensino, visando uma formação compatível com as exigências do setor industrial.

Palavras-chave: Automação Industrial; Ferramentas Didáticas; Norma ISA 101; SCADA; Sistemas Supervisórios.

RESUMO EM LINGUA ESTRANGEIRA

Automation is essential for the development of more efficient, safe, and intelligent production processes. In this context, the use of didactic plants in educational environments significantly contributes to the practical training of future professionals in the field. The SMAR PD3 didactic plant, located at the Araxá campus of CEFET-MG, is used in courses such as Control, Instrumentation, and Supervisory Systems. However, there is an opportunity to improve the currently used supervisory system, particularly regarding technological updates and the adoption of best practice standards. Therefore, this work aimed to develop a new supervisory system for this plant based on the guidelines of the ISA 101 standard, which provides recommendations for the development of more effective, safe, and standardized Human-Machine Interfaces. The system was implemented using the educational version of the AVEVA platform, allowing greater accessibility for didactic purposes. The methodology included an analysis of the existing supervisory system, a study of the ISA 101 standard requirements, and the design of new interfaces following its principles. The result was a more organized and intuitive system that enhances process understanding and expands the plant's pedagogical potential. The application of the standard contributed to aligning the academic environment with industry practices, promoting a richer and more up-to-date learning experience for students. This work highlights the importance of integrating modern educational tools into teaching practices to provide training aligned with industrial sector demands.

Keywords: Industrial Automation; Education Tools; ISA 101 Standard; SCADA; Supervisory Systems.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Planta Didática SMAR PD3, Campus Araxá do CEFET-MG	14
Figura 2 - Sistema Supervisório Planta Didática PD3.....	15
Figura 3 - Tela ilustrativa de Eventos.....	16
Figura 4 - Usina Nuclear Soviética 1980.....	18
Figura 5 - Tela de Supervisão, visão geral do processo	21
Figura 6 - Display de Áreas.....	21
Figura 7 - Display de Unidade.....	22
Figura 8 - Tela de Processo com Menu	22
Figura 9 - Arquitetura CLP.....	24
Figura 10 - Diagrama P&I SMAR PD3	27
Figura 11 - Tela Process View, evidenciando indicações com padrão de cores	31
Figura 12 - Tela nível 1 destacando navegação, cabeçalho e interface central	34
Figura 13 - Tela do Process View do Processo Geral	38
Figura 14 - Tela de Apresentação.....	39
Figura 15 - Tela de Nível 1 Processos Gerais	39
Figura 16 - Tela de Nível 2 Processo de Aquecimento	40
Figura 17 - Tela de Nível 2 Processo de Mistura	40
Figura 18 – Tela de alarmes do Process View.....	42
Figura 19 – Tela de Eventos do Projeto	43
Figura 20 – Tela de Tendências do Process View.....	44
Figura 21 - Tela de Tendências do Projeto.....	44
Figura 22 – Servidor OPC Expert.....	47

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1 - Lista de instrumentos e equipamentos da planta PD3.....	25
Tabela 2 - Lista de símbolos utilizados na interface gráfica	41
Tabela 3 - TAGs configurados no sistema	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANSI	<i>American National Standards Institute</i> – Instituto Nacional Americano de Padrões
CLP	Controlador Lógico Programável
CEFET-MG	Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais
COM	<i>Component Object Model</i> - Modelo de objeto componente
CPU	<i>Central Processing Unit</i> - Unidade Central de Processamento
DA	<i>Data Access</i> – Acesso a dados
DCOM	<i>Distributed Component Object Model</i> - Modelo de objeto componente distribuído
DNP3	<i>Distributed Network Protocol version 3</i> – Protocolo de Rede Distribuído versão 3
FDB	<i>Function Diagram Block</i> – Diagrama de Blocos de Funções
HSE	<i>High Speed Ethernet</i> – Ethernet de alta velocidade
IHM	Interface Homem Máquina
ISA	<i>International Society of Automation</i> – Sociedade Internacional de Automação
LD	<i>Ladder Diagram</i> – Diagrama Ladder
OLE	<i>Object Linking and Embedding</i> – Vinculação e Incorporação de Objetos
OPC	<i>OLE for Process Control</i> – OLE para Controle de Processo
PD3	Planta Didática 3
SCADA	<i>Supervisory Control And Data Acquisition</i> - Controle Supervisório e Aquisição de Dados
ST	<i>Structured Text</i> – Texto estruturado
UA	<i>Unified Architecture</i> – Arquitetura Unificada
TIC	<i>Temperature Indicating Controller</i>
P&I	<i>Piping and Instrumentation Diagram</i> – Diagramas de tubulações e instrumentação

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
2.1	Sistemas Supervisórios	18
2.2	Norma ISA-101.....	20
2.3	Controladores Lógicos Programáveis.....	23
2.4	Planta Didática Smar PD3	25
2.5	AVEVA EDGE 2020.....	28
3	METODOLOGIA.....	30
3.1	Levantamento das Características da Planta Didática SMAR PD3.....	30
3.2	Revisão Bibliográfica	32
3.3	Desenvolvimento do Sistema Supervisório	33
3.3.1	Disposição da Interface	33
3.3.2	Configuração de TAGs e Variáveis.....	34
3.3.3	Comunicação com a Planta via OPC.....	35
3.4	Testes práticos no laboratório	36
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	37
5	CONCLUSÕES.....	48
	REFERÊNCIAS	50

1 INTRODUÇÃO

A automação industrial é uma área essencial para a modernização de processos produtivos, promovendo maior eficiência, segurança e qualidade em diversas indústrias. Segundo Moraes e Castrucci (2010), a automação engloba a utilização de sistemas computacionais que substituem o trabalho humano em tarefas repetitivas, perigosas ou complexas. Esses sistemas são compostos por diferentes níveis de controle, desde sensores e atuadores no chão de fábrica até interfaces homem-máquinas e sistemas supervisórios, que permitem a supervisão do processo de maneira integrada.

Os sistemas supervisórios desempenham um papel fundamental na automação industrial, possibilitando o monitoramento e o gerenciamento eficiente de processos nas indústrias. Os sistemas supervisórios são plataformas que contém as Interfaces Homem Máquina (IHM), que são as interfaces (telas) criadas para esse fim de supervisão e controle de processo. A norma ISA 101, por sua vez, oferece instruções para o desenvolvimento das IHM, promovendo diretrizes para o desenvolvimento de interfaces amigáveis (ANSI/ISA-101.01, 2015). No contexto educacional, a implementação de soluções atualizadas e aderentes a normas é essencial para auxiliar os professores nas aulas e preparar os estudantes para os desafios da área.

A norma ISA 101 é uma referência abrangente para o desenvolvimento e gestão de Interfaces Homem-Máquina (IHMs) em sistemas de automação. Homologada em 2015 pelo ANSI (*American National Standards Institute* – Instituto Nacional Americano de Padrões), a norma visa estabelecer diretrizes que suportem todas as fases do ciclo de vida das IHMs, desde o design inicial até a operação e manutenção. Seu principal objetivo é garantir que as IHMs sejam projetadas para oferecer um controle de processo mais seguro, eficaz e eficiente. (ANSI/ISA-101.01, 2015)

A norma ISA 101 fornece instruções para o desenvolvimento de IHMs, promovendo a detecção e resposta eficaz a condições anormais nos processos. Essas melhorias são particularmente relevantes em um ambiente acadêmico, onde os futuros profissionais devem ser capacitados para lidar com as demandas modernas do mercado.

O presente trabalho de conclusão de curso insere-se no campo de ensino da automação industrial, que tem como propósito desenvolver um sistema supervisório para a planta didática SMAR PD3, com base nos princípios estabelecidos pela norma ISA 101. A planta didática SMAR PD3, representada pela Figura 1, é completa em termos de automação, pois conta com

dispositivos de campo: sensores e atuadores, uma unidade de controle lógico e o sistema de supervisão.



Figura 1 - Planta Didática SMAR PD3, Campus Araxá do CEFET-MG

FONTE: A autoria própria

Essa planta é utilizada nas aulas de sistemas supervisórios, controle e instrumentação eletrônica atendendo à formação dos alunos do curso de Engenharia de Automação Industrial e do ensino Técnico em Eletrônica Industrial. No entanto, o sistema supervisório atualmente utilizado na planta didática SMAR PD3, ilustrado parcialmente na Figura 2, apresenta importantes limitações quanto à aderência à norma ISA 101. As interfaces do supervisório existente não seguem princípios fundamentais da norma, resultando em telas visualmente carregadas, com excesso de cores, informações dispostas sem hierarquia clara e ausência de padrões que facilitem a compreensão do processo pelos usuários. Essas deficiências comprometem a percepção situacional dos usuários, dificultam a detecção de condições

anormais — como alarmes de alta prioridade, por exemplo, nível muito baixo ou temperatura muito alta — e tornam a navegação confusa e pouco intuitiva. Além disso, a nomenclatura utilizada no supervisório atual baseia-se em códigos técnicos e abreviações de engenharia, o que representa uma barreira para usuários ainda em processo de aprendizagem, pois requer conhecimento prévio sobre padrões de instrumentação.

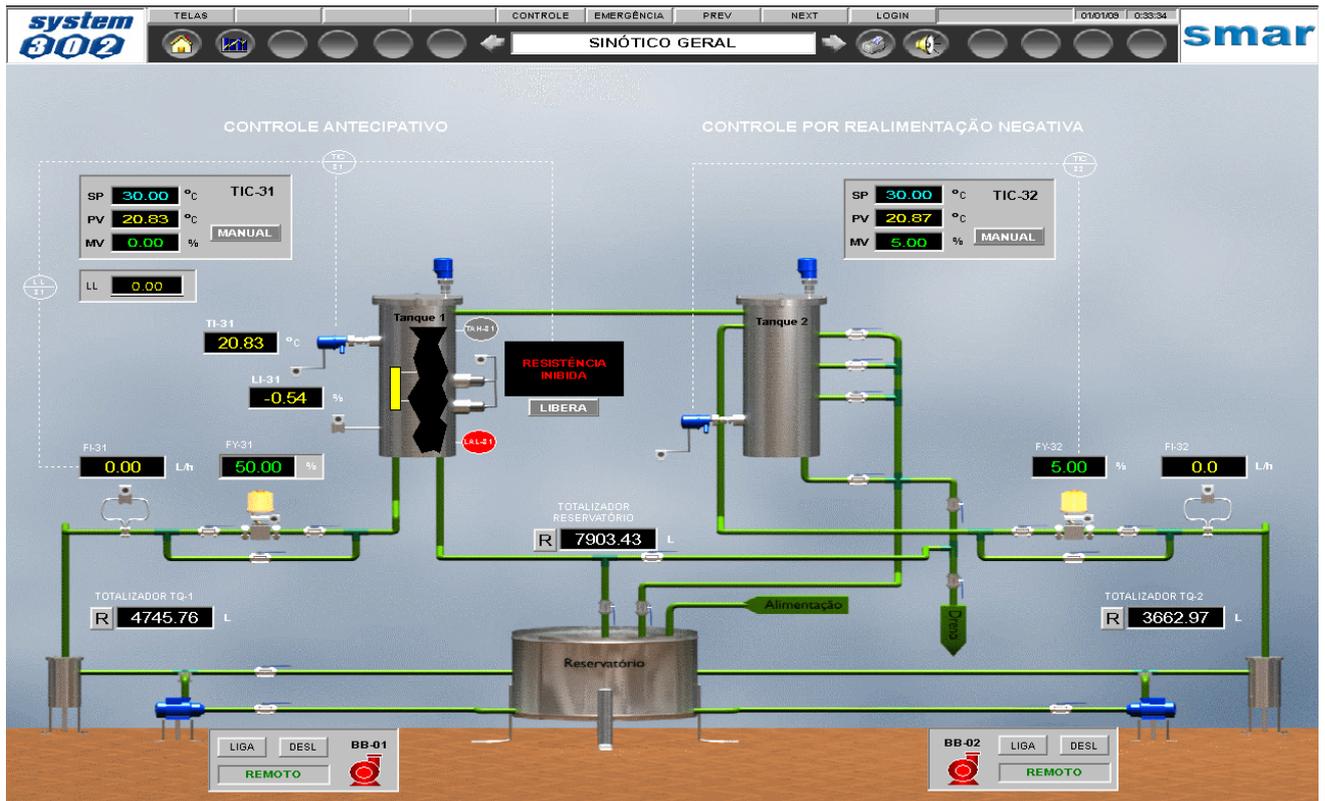


Figura 2 - Sistema Supervisório Planta Didática PD3

FONTE: Sistema de supervisão Process View System302

Observa-se também que algumas telas presentes na aplicação original, como a tela de eventos, estão inoperantes ou são meramente imagens estáticas, sem funcionalidade prática, como visto na Figura 3.

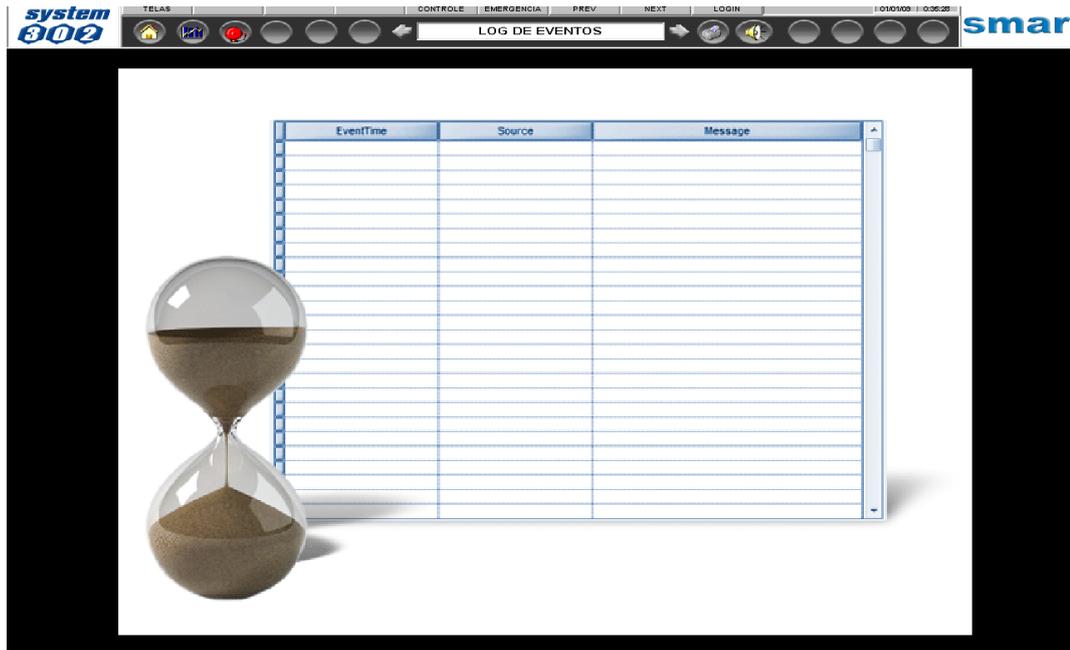


Figura 3 - Tela ilustrativa de Eventos

FONTE: Sistema de supervisão Process View System302

Outro ponto limitante está no fato de o sistema supervisorio atual estar vinculado a uma licença dedicada da SMAR, o System302 (ProcessView). Essa licença restringe o uso do software a um número limitado de estações, inviabilizando que os alunos possam realizar práticas individuais.

Portanto, a escolha do tema deste trabalho se justifica pela necessidade de padronização e revisão do sistema supervisorio da planta SMAR PD3. A adoção da norma ISA 101 como referência vai auxiliar os professores nas aulas de Sistemas Supervisorios, além de facilitar o entendimento do aluno nas práticas utilizando a planta didática em outras disciplinas correlatas: instrumentação e controle. Além disso, permitirá acompanhar o funcionamento da planta de forma mais eficiente e segura.

Outro fator determinante para a escolha do tema é a possibilidade de modernização do sistema supervisorio utilizando uma plataforma mais acessível aos estudantes, como o AVEVA EDGE. Essa solução combina recursos avançados de visualização com uma interface amigável e de fácil integração. Além disso, sua utilização no projeto reforça o compromisso com a adoção de tecnologias modernas e acessíveis do grupo AVEVA, garantindo que os alunos tenham contato com ferramentas que são empregadas na indústria.

Dessa forma, a escolha do tema “Desenvolvimento de Sistema Supervisorio para a Planta Didática SMAR PD3 com Base na Norma ISA 101” reflete não apenas a necessidade de

modernização de uma infraestrutura para o ensino, mas também a oportunidade de preparar os estudantes para o mercado em constante evolução. O alinhamento com as diretrizes da ISA 101 garante que o sistema supervisório desenvolvido neste projeto estará em conformidade com os padrões exigidos pela atualidade, promovendo uma formação acadêmica mais eficaz e alinhada às melhores práticas.

Portanto, o principal objetivo é desenvolver um sistema supervisório eficiente e atualizado para a Planta Didática SMAR PD3, fundamentado nas diretrizes da norma ISA 101, visando a modernização e a padronização das práticas acadêmicas relacionadas ao ensino de Sistemas Supervisórios e outras disciplinas.

A metodologia para o desenvolvimento do projeto, envolve a análise crítica do sistema supervisório System 302, o estudo dos requisitos estabelecidos pela norma ISA 101 e o desenvolvimento de novas interfaces com base em seus princípios. Como resultado, obter um sistema mais organizado, intuitivo, e aderente às boas práticas de interface homem-máquina.

Ao longo do projeto, serão apresentados os conceitos relacionados ao tema, os métodos propostos para o desenvolvimento de um novo sistema supervisório, apresentando no final os resultados do trabalho. Por meio dessa pesquisa, espera-se contribuir para a área de ensino em automação industrial e para a modernização das ferramentas didáticas utilizadas na formação dos estudantes.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo serão apresentados os principais estudos, normas e conceitos relacionados ao desenvolvimento de sistemas supervisórios, bem como à utilização da norma ISA 101 e da plataforma AVEVA EDGE.

2.1 Sistemas Supervisórios

Os sistemas supervisórios, comumente chamados de SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) desempenham um papel essencial na supervisão e controle de processos industriais. Segundo Garcia Junior (2019), os sistemas SCADA são ferramentas cruciais para monitorar e controlar processos em tempo real, permitindo a tomada de decisão com base em dados precisos e atualizados. A capacidade de integração e automação oferecida pelos sistemas supervisórios é particularmente valiosa em ambientes de ensino e pesquisa.

Os sistemas supervisórios coletam informações de processos industriais por meio de equipamentos de aquisição de dados, processam e armazenam essas informações e as apresentam aos operadores de maneira gráfica e intuitiva. Inicialmente, os sistemas SCADA eram essencialmente telemétricos, monitorando variáveis por meio de painéis de lâmpadas e indicadores, como apresentado na figura 4. Com os avanços tecnológicos, passaram a incorporar interfaces gráficas sofisticadas e recursos multimídia, melhorando significativamente a interação entre operadores e o processo industrial (COELHO, 2010).



Figura 4 - Usina Nuclear Soviética 1980

Fonte: (HELERBROCK & NEVES, 2017)

O funcionamento de um sistema SCADA baseia-se na comunicação entre dispositivos de campo, como sensores e atuadores, os dispositivos de controle (CLPs), e um software central que processa os dados coletados. Segundo a ANSI/ISA-101.01-2015 (2015), o SCADA inclui hardware e software que permitem que operadores e outros usuários monitorem e interajam com o sistema de controle e, conseqüentemente, com o processo industrial. Esses sistemas são capazes de registrar e analisar dados em tempo real.

Uma das tecnologias utilizadas no sistema é a arquitetura de rede que permite a troca de informações entre os dispositivos, incluindo controladores, sensores, atuadores e estações de trabalho. Protocolos como o Modbus TCP, DNP3 (*Distributed Network Protocol*) e OPC (*OLE for Process Control*) são amplamente utilizados (GARCIA JUNIOR, 2019). O Modbus TCP destaca-se pela compatibilidade com redes Ethernet; o DNP3 oferece robustez em aplicações que exigem alta confiabilidade; e o OPC facilita a interoperabilidade entre equipamentos de diferentes fabricantes, aspecto essencial para ambientes acadêmicos com dispositivos variados.

A eficácia do SCADA depende diretamente da robustez das suas tecnologias de comunicação, que garantem a transmissão rápida e confiável das informações operacionais. Isso permite que o sistema responda a eventos críticos quase instantaneamente, otimizando o controle dos processos industriais e reduzindo o tempo de resposta a falhas. Além disso, uma rede de comunicação bem estruturada facilita a integração entre diferentes dispositivos e fabricantes, garantindo a interoperabilidade e a escalabilidade do sistema (GARCIA JUNIOR, 2019).

Coelho (2010) destaca que um sistema SCADA é composto por diversos elementos essenciais, incluindo um núcleo de processamento responsável pelo gerenciamento das informações adquiridas, módulos de comunicação que garantem a conexão com os equipamentos de campo, um banco de dados para armazenamento histórico, um gerenciador de alarmes e as interfaces gráficas. A integração desses elementos possibilita a configuração e personalização do sistema para atender às necessidades específicas de cada processo industrial.

As estações de trabalho dentro de um sistema SCADA possuem funções distintas. Coelho (2010) classifica essas estações em diferentes categorias, sendo a estação independente (*stand-alone*), que opera de maneira isolada, sem conexão com outros sistemas; a estação servidora, responsável pela aquisição e processamento de dados; a estação de monitoração e operação, onde os operadores interagem diretamente com o processo; e a estação de gerência, que fornece acesso a relatórios e informações estratégicas sem permitir intervenções diretas no sistema.

2.2 Norma ISA-101

A norma ISA 101 é uma referência consolidada para o desenvolvimento de Interfaces Homem-Máquina (IHMs). Essa norma foi homologada em 9 de julho de 2015 pelo ANSI (*American National Standards Institute*) e tem como objetivo principal suportar todas as fases do ciclo de vida das IHMs em sistemas de automação de processos (ANSI/ISA-101.01, 2015).

A criação da ISA 101 surgiu da necessidade de padronizar e melhorar a eficiência operacional das IHMs. Antes da norma, interfaces eram desenvolvidas sem considerar os limites sensoriais e cognitivos dos operadores, resultando em sistemas confusos e suscetíveis a erros. A ISA 101 busca corrigir isso, garantindo que as interfaces sejam ergonômicas, claras e seguras, promovendo uma melhor resposta a condições anormais e aumentando a eficiência operacional (ANSI/ISA-101.01, 2015).

A norma também enfatiza a necessidade de integração entre IHMs e sistemas de alarme, transformando-as em uma camada adicional de proteção contra falhas e situações de risco. Com o uso da ISA 101, é possível mapear as necessidades operacionais, como detectar, diagnosticar, responder e avaliar situações, garantindo uma gestão mais eficaz (ANSI/ISA-101.01, 2015).

A ISA 101 também apresenta diretrizes específicas para a utilização de cores, enfatizando que a cor deve ser usada para transmitir informações de forma intuitiva, mas sem sobrecarregar a interface. Por exemplo, cores para uso normal devem ser discretas e de baixo contraste, enquanto cores de destaque, como vermelho e amarelo, devem ser reservadas para alarmes, falhas ou intertravamentos críticos. O excesso de cores decorativas pode gerar distração e reduzir a eficiência da interpretação visual da interface (DURANSO, Gregory, 2020).

Além disso, a norma estabelece uma hierarquia de telas organizada em diferentes níveis de informação, facilitando a navegação e a tomada de decisões. Os displays são divididos em quatro camadas principais: visão geral do sistema, proporcionando uma visão ampla do estado da planta (Figura 5); display de área, apresentando detalhes de setores específicos (Figura 6); displays de unidade, exibindo informações detalhadas sobre equipamentos individuais (Figura 7); e displays de diagnóstico, contendo dados técnicos e informações de manutenção. Essa estrutura permite que os operadores acessem rapidamente as informações necessárias sem sobrecarregar sua memória cognitiva (ANSI/ISA-101.01, 2015), (DURANSO, Gregory, 2020).



Figura 5 - Tela de Supervisão, visão geral do processo

Fonte: ISA Distrito 4, 2017

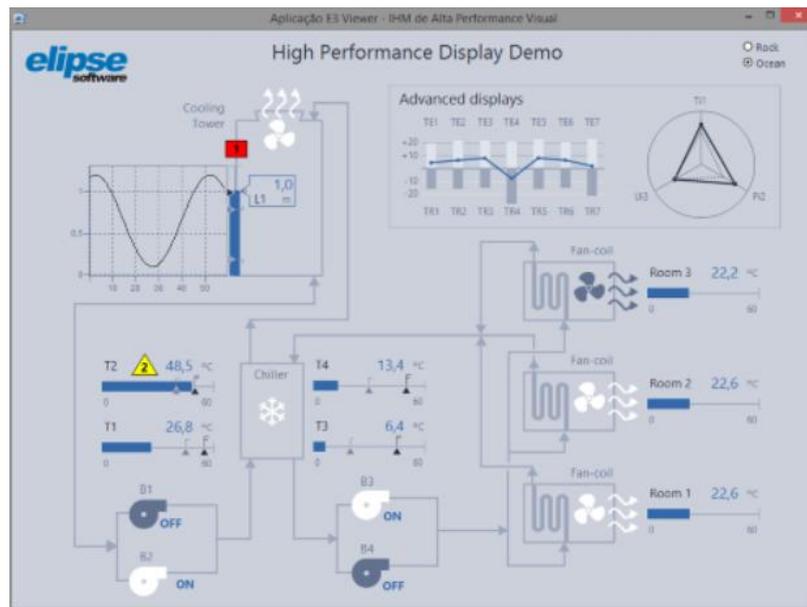


Figura 6 - Display de Áreas

Fonte: GOETZ, 2019



Figura 7 - Display de Unidade

Fonte: ISA Distrito 4, 2017

A norma também destaca a importância da navegação nas IHMs, sugerindo que os sistemas utilizem métodos intuitivos, como menus estruturados (Figura 8), atalhos rápidos e padrões de navegação consistentes. A navegação deve minimizar o número de cliques necessários para acessar informações críticas e evitar a necessidade de percorrer telas excessivas para realizar uma ação (ISA Distrito 4, 2017), (ANSI/ISA-101.01, 2015), (DURANSO, Gregory, 2020).

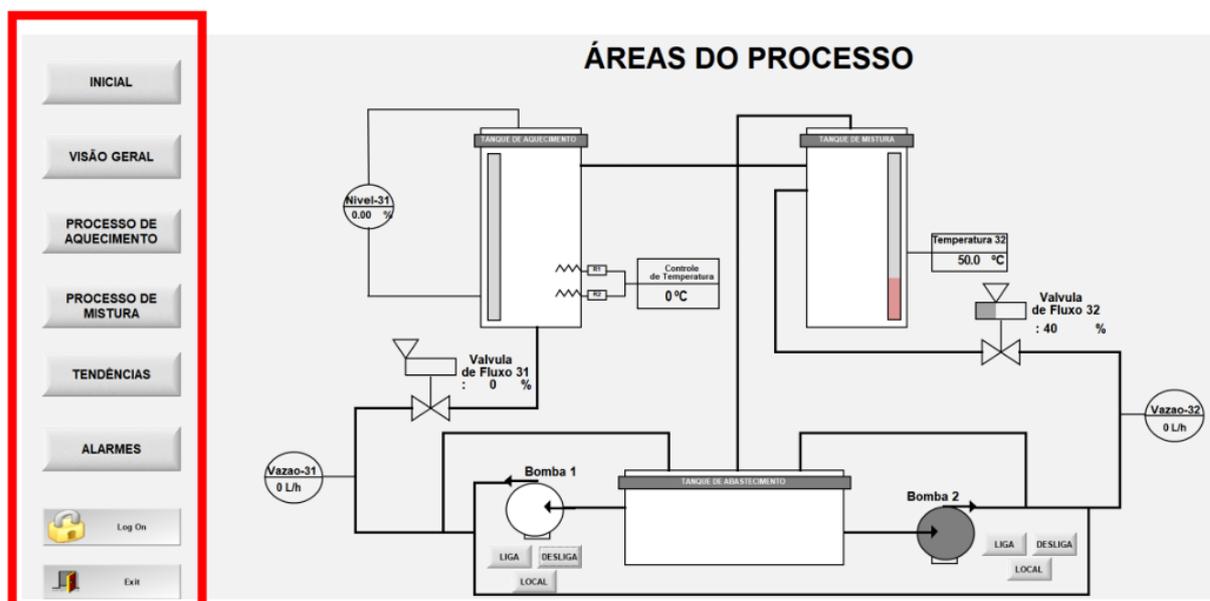


Figura 8 - Tela de Processo com Menu

FONTE: Autoria própria

Estudos recentes reforçam a importância prática da aplicação da norma ISA 101, sobretudo nas crescentes exigências por sistemas centrados no humano. Sverko e Grbac demonstram, por meio do desenvolvimento de um framework de visualização adaptativa integrado a sistemas SCADA, que os princípios da ISA 101 são essenciais para superar as limitações de interfaces estáticas e rígidas, historicamente presentes em sistemas supervisórios industriais. O estudo evidencia como abordagens baseadas em design composto e gráficos configuráveis permitem que operadores personalizem a exibição de dados conforme necessidades específicas, melhorando significativamente a percepção situacional, a capacidade de diagnóstico e a tomada de decisão em processos complexos. (2024)

Ademais, os autores Sverko e Grbac destacam que soluções alinhadas à ISA 101 viabilizam interfaces mais intuitivas e flexíveis, atendendo tanto à demanda por maior integração tecnológica quanto às exigências ergonômicas e cognitivas dos operadores. Esses avanços reforçam a relevância de incorporar padrões como a ISA 101 ao desenvolvimento de sistemas supervisórios modernos, como o proposto neste trabalho, visando não apenas conformidade técnica, mas também maior eficiência operacional e didática.

Por fim, a ISA 101 reforça a necessidade de um design centrado no usuário, considerando fatores como acessibilidade para operadores com dificuldades visuais, diferenciação de status por formas além das cores e uso de contraste adequado para melhorar a legibilidade. Essas práticas garantem que a interface seja compreensível e eficaz para todos os usuários, independentemente de sua experiência ou limitações visuais (ANSI/ISA-101.01 2015, DURANSO 2020, SVERKO & GRBAC 2024).

2.3 Controladores Lógicos Programáveis

Os CLPs são dispositivos eletrônicos digitais utilizados na automação para substituir circuitos de relés e temporizadores eletromecânicos. Eles oferecem maior flexibilidade, confiabilidade e eficiência no controle de processos industriais. Além disso, seu funcionamento baseia-se na execução de um programa armazenado em sua memória, permitindo o controle e a automação de máquinas e processos. De acordo com Moraes e Castrucci (2010), os CLPs surgiram para suprir a necessidade de sistemas de controle mais robustos e adaptáveis às demandas da indústria moderna.

A composição de um CLP inclui diversos módulos essenciais para seu funcionamento. A fonte de alimentação, fornece energia para o controlador. A Unidade Central de

Processamento (CPU) executa o programa do usuário e atualiza os dados, sendo o "cérebro" do sistema. O CLP também conta com diferentes tipos de memória: a EPROM, armazena o firmware do fabricante, e a RAM, guarda o programa do usuário e os dados variáveis. Além disso, os dispositivos de entrada e saída (E/S) são fundamentais para a interação do CLP com sensores, atuadores e outros equipamentos industriais. Seu funcionamento ocorre em ciclos contínuos de varredura, nos quais o controlador lê as entradas, processa as instruções programadas e atualiza as saídas conforme necessário (DE MORAES & CASTRUCCI, 2007).

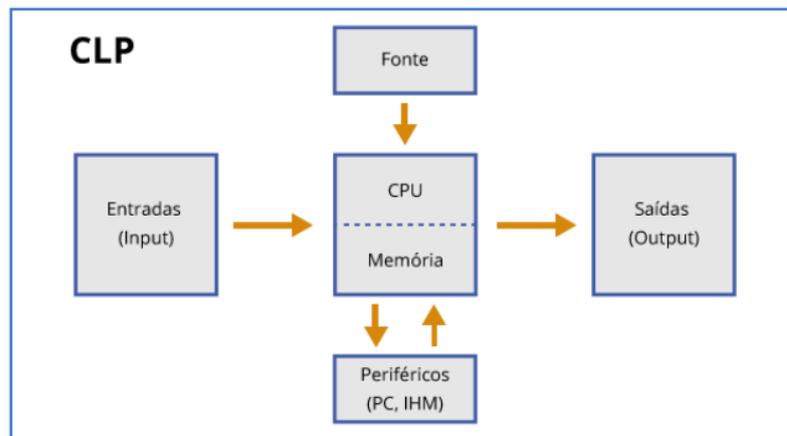


Figura 9 - Arquitetura CLP

FONTE: Aula 01 - Introdução aos Controladores Lógicos Programáveis, 2015

Os CLPs podem ser programados em linguagens padronizadas pela norma IEC (IEC, 2003), que estabelece padrões internacionais para programação de controladores industriais. Entre as linguagens mais comuns estão o *Ladder Diagram* (LD), que utiliza uma representação gráfica semelhante a diagramas de relés; o *Structured Text* (ST), que se assemelha a linguagens de programação estruturada como Pascal; e o *Function Block Diagram* (FBD), que emprega blocos funcionais para representar a lógica de controle. Essas padronizações permitem maior flexibilidade no desenvolvimento de aplicações industriais e facilitam a portabilidade dos programas entre diferentes marcas e modelos de CLPs. Segundo Choquette (2015), a adoção da IEC 61131-3 melhorou a portabilidade dos códigos de programação dos CLPs, tornando mais eficiente e padronizado, assim como a norma ISA 101 para o desenvolvimento de supervisórios (CHOQUETTE, 2015).

A comunicação entre os CLPs e o sistema SCADA ocorre por meio de diferentes protocolos, como Modbus TCP, Ethernet/IP e OPC, que garantem a transmissão de dados de

forma rápida e segura. Dessa forma, os CLPs desempenham um papel fundamental na arquitetura do sistema SCADA.

2.4 Planta Didática Smar PD3

A Planta Didática SMAR PD3 é um equipamento de ensino voltado para a formação em automação industrial, permitindo a simulação de malhas de controle similares às utilizadas em plantas industriais reais através de um CLP e sistema de supervisão. Com estrutura compacta, leve e de fácil transporte, sua composição inclui instrumentos, como transmissores de vazão, nível e temperatura, válvulas de controle, sensores, bombas hidráulicas e sistemas de supervisão integrados. Utilizando os protocolos HART e Foundation Fieldbus ou Profibus PA, a PD3 proporciona flexibilidade na configuração e criação de novas estratégias de controle sem necessidade de reestruturação física (SMAR, 2012).

A Planta Didática é projetada e fabricada com a maioria dos instrumentos e controladores desenvolvidos pela própria smar. Abaixo estão listados os instrumentos e equipamentos que compõe a planta PD3.

Tabela 1 - Lista de instrumentos e equipamentos da planta PD3

Item	Descrição breve	Descrição detalhada	Quantidade
1	Válvulas	Válvula Esfera Tripartida 1"	10
2	Válvulas	Válvula Esfera Tripartida 3/4"	12
3	Painel Elétrico	Painel frontal de acionamento e comando	1
4	Tanques	Tanques em Aço Inox	3
5	Transmissores de Pressão para medição de nível	Transmissores de Pressão LD302	1
6	Transmissores de Pressão para medição de vazão	Transmissores de Pressão LD302	2
7	Transmissores de Temperatura	Transmissores de Temperatura TT302	2
8	Posicionadores de Válvulas	Posicionadores de Válvulas FY302	2
9	Inversor de Frequência	Inversor de Frequência	1
10	Bombas Hidráulicas	Bombas Hidráulicas	2
11	Válvulas de Controle	Válvulas de controle do tipo globo	2
12	Rotâmetro	Rotâmetro de Água	2
13	Sensor de Temperatura	Sensor de temperatura tipo Pt100-IEC	1

14	Sensor de Temperatura	Sensor de temperatura tipo Termopar	1
15	Chave de Nível	Detecta nível baixo de água quente no tanque	1
16	Conversor Estático	Utilizado para alimentar as resistências elétricas	1
17	Termostato	Termostato	1
18	Chave magnética	Chave magnética para ajuste local	2
19	Resistência de Imersão	Resistência elétrica	2
20	Conversor Fieldbus	Conversor Fieldbus/4-20 mA - FI302	1
21	Plataforma de Controle	Plataforma de Controle e Automação de Processos - DFI302	1
22	Módulo Controlador multifuncional	Controlador multifuncional com funções de gateway DF63	1
23	Módulo Controlador HSE	Controlador HSE associa o controle discreto ao contínuo utilizando blocos funcionais FOUNDATION™ fieldbus DF75	1
24	Módulo Switch Ethernet	Módulo conecta o módulo DF63 diretamente a uma rede local Ethernet	1
25	Cabo Par Trançado	Cabo par trançado 100 Base-TX DF54	2
26	Módulo Isolador Distribuidor de Sinal	Módulo isolador galvanicamente de um sinal transmitido de um instrumento receptor IS400P	1
27	Módulo de Alimentação	Fonte de alimentação com saída de tensão de 24 Vdc e 3A para uso externo	1
28	Terminador de Barramento Fieldbus	Módulo que evita reflexão do sinal de transmissão BT302	1
29	Fonte para Backplane	Fonte para Backplane DF50	1
30	Fonte de Alimentação para Rede Fieldbus	Módulo com entrada AC universal (90 a 264 Vac, 47 a 63 Hz ou 127 a 135 Vdc) e uma saída de 24 Vdc isolada DF52	1
31	Módulo Impedância para FOUNDATION™ fieldbus	Impedância para FOUNDATION™ fieldbus com 4 canais DF53	1
32	Pendrive hard key Server, System302	Licença hard key Server, System302	1

33	Pendrive hard key Process View, System303	Licença hard key Process View, System302	1
34	Software de Gerenciamento	Plataforma integrada SYSTEM302	1

A planta emula, em escala reduzida, um processo industrial com controle de variáveis como temperatura, vazão e nível. Seu funcionamento baseia-se em um circuito fechado conforme visto no diagrama P&I (*Piping and Instrumentation Diagram*), apresentado na Figura 10, no qual a água circula entre tanques de abastecimento, aquecimento e mistura, por meio de bombas. O sistema conta com sensores, transmissores e válvulas atuadas que permitem a implementação de malha de controle antecipativa e em cascata.

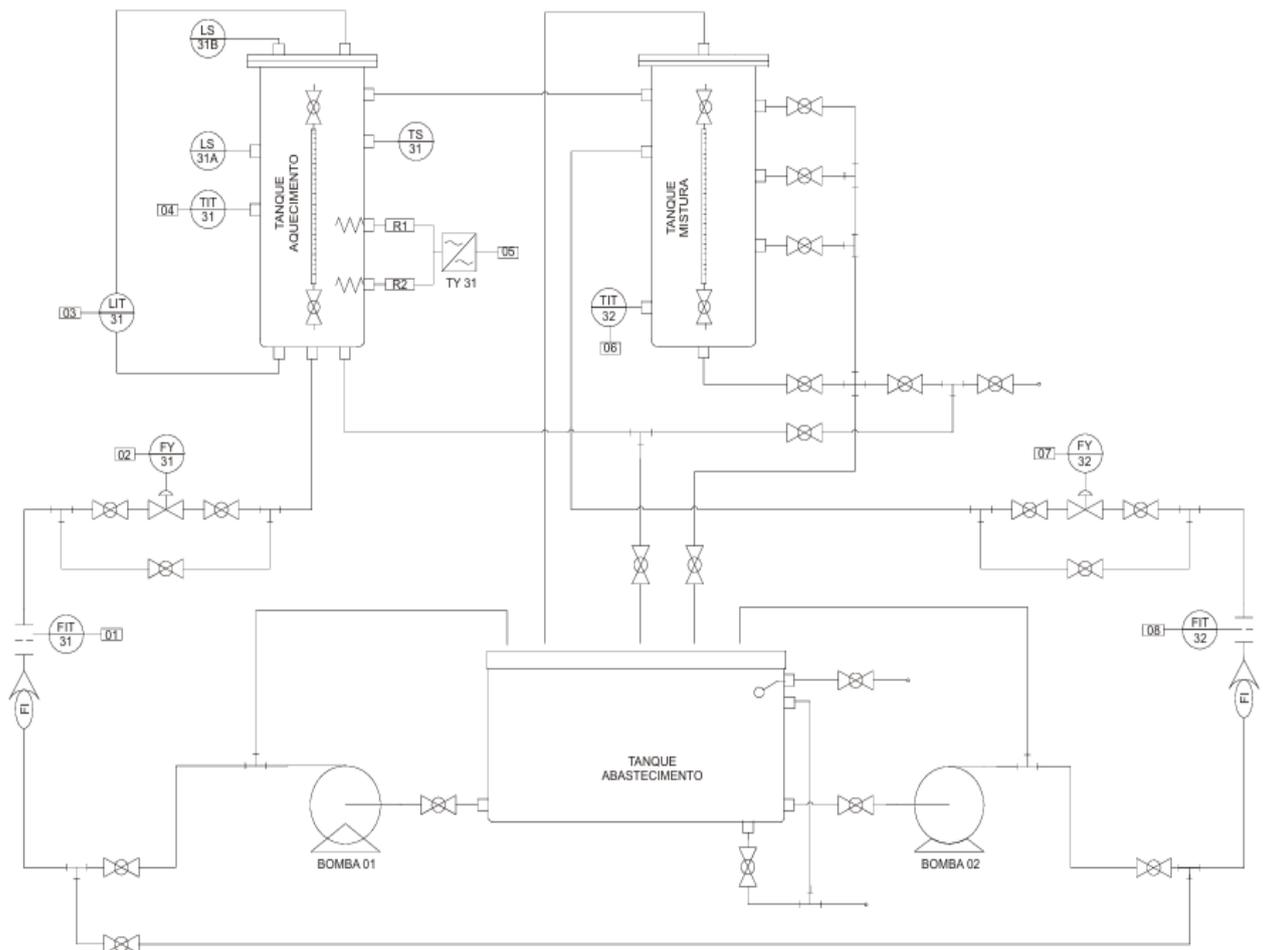


Figura 10 - Diagrama P&I SMAR PD3

FONTE: SMAR, 2012

O processo é baseado na recirculação de água entre três tanques principais: o tanque de abastecimento, o tanque de aquecimento e o tanque de mistura. A água armazenada no tanque de abastecimento é utilizada para alimentar o tanque de aquecimento, onde a água é aquecida por meio de duas resistências elétricas de imersão. Essa água aquecida é então transferida para o tanque de mistura, onde é combinada com água fria proveniente do próprio tanque de abastecimento.

A planta possui duas malhas de controle independentes, implementadas para simular estratégias industriais: uma malha de controle antecipativo e uma malha de controle em cascata, no qual é possível definir o tipo de controle através de uma seleção no sistema supervisorio. Em ambas as malhas, o controle é realizado por meio de válvulas proporcionais e uma resistência elétrica que atuam como variáveis manipuladas (MV), enquanto os sensores de vazão e temperatura atuam como variáveis de processo (PV). Essa configuração permite um controle da temperatura da água, tornando o processo ideal para fins didáticos e experimentais.

A operação, configuração e monitoramento da Planta Didática são realizados diretamente pelo SYSTEM302, permitindo a manipulação dos registros dos dispositivos, a alteração de parâmetros internos de transmissores e válvulas, além da modificação dos modos operacionais das malhas de controle. O sistema de supervisão Process View do SYSTEM302, é responsável por coletar os dados dos equipamentos e exibir informações das malhas de controle por meio de animações e telas gráficas interativas, proporcionando uma visualização do processo.

A documentação técnica da planta SMAR PD3, incluindo o diagrama P&I, foram utilizados símbolos e códigos padronizados conforme a norma ANSI/ISA-5.1-2024 – *Instrumentation Symbols and Identification*, a qual estabelece convenções universais para identificação de instrumentos e funções em sistemas de automação (ANSI/ISA-5.1, 2024). Essa norma define códigos alfanuméricos, como TIC (*Temperature Indicating Controller*) Controlador indicador de temperatura, assegurando clareza e uniformidade na representação dos instrumentos. (ANSI/ISA-5.1, 2024)

2.5 AVEVA EDGE 2020

O AVEVA Edge é uma plataforma moderna para o desenvolvimento de aplicações em sistemas supervisorios, amplamente utilizada em sistemas de automação industrial. Anteriormente conhecido como InduSoft Web Studio, o software passou a integrar o portfólio

de soluções da empresa AVEVA, mantendo sua proposta de oferecer um ambiente de desenvolvimento flexível, escalável e multiplataforma (AVEVA Edge, 2020).

Com foco em portabilidade, o AVEVA Edge permite que um mesmo projeto seja desenvolvido uma única vez e implantado em diferentes tipos de dispositivos e sistemas operacionais, como Windows, Linux e sistemas embarcados. Essa característica viabiliza o uso da ferramenta tanto em computadores industriais e painéis de operação quanto em dispositivos de borda (AVEVA Edge, 2020).

A plataforma também se destaca por sua interoperabilidade, oferecendo suporte nativo a uma ampla variedade de protocolos industriais, como Modbus TCP, OPC DA/UA, MQTT e DNP3, além de conectividade com bancos de dados relacionais e historiadores. Isso permite a integração eficiente com equipamentos de diferentes fabricantes, facilitando sua aplicação em ambientes heterogêneos. Outro diferencial é sua capacidade de mobilidade, com suporte à visualização remota por meio de navegadores compatíveis com HTML5. Essa funcionalidade permite que operadores e técnicos acessem o sistema supervisório a partir de dispositivos móveis, como smartphones e tablets, aumentando a flexibilidade e a disponibilidade das informações do processo (AVEVA Edge, 2020).

O AVEVA Edge oferece um conjunto abrangente de recursos para o desenvolvimento de sistemas supervisórios, incluindo gerenciamento de alarmes, geração de relatórios, segurança por níveis de acesso e suporte multilíngue. Seu ambiente de desenvolvimento gráfico intuitivo possibilita a criação de interfaces homem-máquina (IHMs) de forma eficiente, com suporte a scripts e automações personalizadas.

Além de suas funcionalidades técnicas, o AVEVA Edge oferece opções de licenciamento simples e flexíveis, tanto para uso comercial quanto educacional. Estão disponíveis licenças comerciais para aplicações industriais, bem como licenças educacionais voltadas para universidades e estudantes. No caso de uso acadêmico, a ativação pode ser realizada por meio do portal oficial da AVEVA, bastando informar o identificador de hardware (código do site) gerado após a instalação do software. Essa política de licenciamento amplia o acesso à ferramenta em instituições de ensino, permitindo seu uso em projetos educacionais sem custos para alunos e professores.

Dessa forma, o uso do AVEVA Edge neste projeto permite a criação de um sistema supervisório moderno, acessível e compatível com os requisitos da norma ISA 101, contribuindo significativamente para o aprimoramento das práticas pedagógicas no ensino de automação industrial.

3 METODOLOGIA

A pesquisa conduzida neste projeto seguiu uma metodologia estruturada, composta por etapas, que foram elaboradas para garantir o alcance dos objetivos propostos. A metodologia adotada para o desenvolvimento do sistema supervisorio para a Planta Didática SMAR PD3 é descrita a seguir.

3.1 Levantamento das Características da Planta Didática SMAR PD3

O primeiro passo para o desenvolvimento do novo sistema supervisorio foi a realização de um levantamento técnico da planta didática SMAR PD3. Essa etapa teve como objetivo compreender a estrutura física e lógica da planta, os dispositivos que a compõem, os modos operacionais implementados e, principalmente, as características e limitações do sistema supervisorio atual.

A análise foi conduzida com base em fontes técnicas da SMAR, como o manual técnico da planta, o diagrama P&I, o descritivo de processo e a lógica de operação do CLP DF75, que controla a planta. Com essas informações, foi possível compreender o funcionamento da planta em suas três etapas principais: o armazenamento de água no tanque de abastecimento; o aquecimento da água por meio de resistências elétricas no tanque de aquecimento; e o envio da água aquecida ao tanque de mistura, onde ocorre o controle de temperatura por meio de válvulas proporcionais e da modulação das resistências. Essa configuração permite a simulação de estratégias industriais, como malhas de controle antecipativo e em cascata.

Além da estrutura funcional, foram identificados os requisitos operacionais e funcionais do sistema supervisorio, como a visualização das variáveis de processo, a sinalização de alarmes operacionais, e a atuação em situações críticas. Também foram revisados os critérios de segurança, como o bloqueio automático das resistências em situações de nível crítico no tanque de aquecimento, visando garantir a integridade dos equipamentos.

Durante o levantamento, foram evidenciadas restrições importantes do sistema atual, operado via software ProcessView do SYSTEM302, que apresenta limitações técnicas e operacionais. Entre os principais problemas identificados está a incompatibilidade do sistema com atualizações recentes do sistema operacional. Além disso, a interface apresenta um excesso de cores e informações não essenciais, como o uso de diferentes tonalidades — azul, verde e amarelo — para variáveis analógicas, sem uma lógica evidente que auxilie na interpretação dos

dados, conforme apresentado na Figura 11. Foram identificadas ainda representações gráficas de válvulas manuais que aparecem nas telas, mas não possuem qualquer comando associado ou feedback de posição, resultando em elementos visuais que não contribuem para a operação. A estrutura de navegação também se mostrou pouco intuitiva, exigindo que o operador percorra diversas telas até alcançar as informações desejadas, já que a tela de navegação fica oculta e não há acesso direto a funcionalidades-chave.

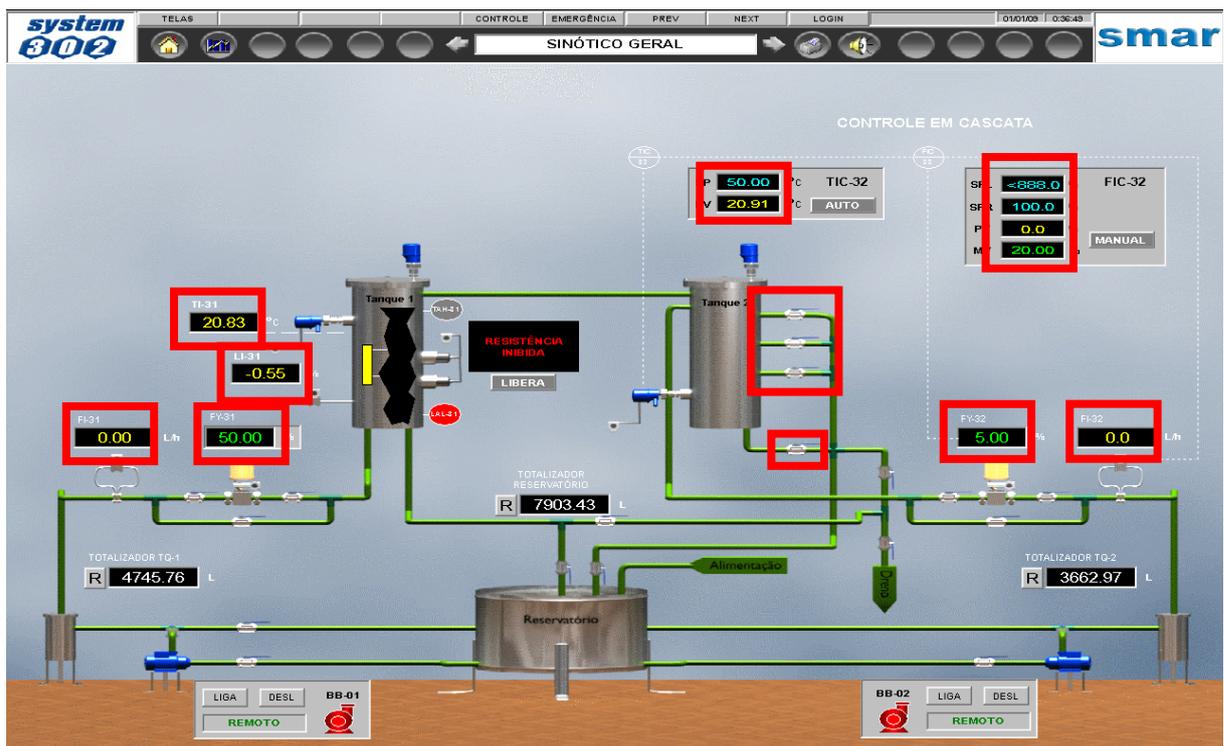


Figura 11 - Tela Process View, evidenciando indicações com padrão de cores

FONTE: Sistema de supervisão Process View System302

Observou-se que a tela de eventos existente é apenas ilustrativa, sem atualização dinâmica ou dados reais do processo, limitando seu valor prático. Da mesma forma, o gráfico de tendências, embora atualize os dados, apresenta limitações quanto à usabilidade, pois não oferece uma forma intuitiva de selecionar variáveis ou visualizar informações específicas de maneira rápida, comprometendo seu potencial como ferramenta de análise operacional. No que se refere aos alarmes, embora haja indicações gráficas na tela principal, a informação apresentada não é suficientemente clara, em razão do uso de nomenclaturas técnicas que podem não ser imediatamente compreendidas pelo usuário. Para acessar detalhes sobre alarmes é necessário navegar até uma tela específica de alarmes, o que pode atrasar a resposta a situações críticas. Além disso, a verificação do estado geral da planta e eventuais falhas que possam

impedir a operação, demanda a troca de tela, pois tais informações não estão integradas de forma clara na interface principal.

Aliás, há uma dificuldade na manutenção e atualização da interface decorrente a dificuldade na manutenção e atualização da interface, decorrente de uma arquitetura de software proprietária e pouco flexível, o que limita adaptações às necessidades pedagógicas ou futuras evoluções do sistema. Esse diagnóstico inicial foi fundamental para definir os parâmetros do desenvolvimento do novo sistema supervisorio, buscando não apenas modernizar a tecnologia empregada, mas, sobretudo, adequar a interface às boas práticas estabelecidas pela norma ISA 101, priorizando clareza, hierarquia de informações e usabilidade tanto para operadores quanto para fins didáticos.

3.2 Revisão Bibliográfica

Para fundamentar teoricamente o desenvolvimento do novo sistema supervisorio, foi realizada uma pesquisa bibliográfica abrangente envolvendo livros sobre automação, as normas técnicas, artigos científicos e manuais técnicos. O foco esteve na análise de boas práticas para o desenvolvimento de interfaces homem-máquina (IHMs), nos conceitos da norma ISA-101.01-2015, nas potencialidades das plataformas SCADA modernas e nas funcionalidades do software AVEVA Edge.

O documento da norma ISA-101 foi estudado, onde foram analisadas suas diretrizes para a criação de filosofias e guias de estilo de IHM, que norteiam aspectos como hierarquia de telas, navegação eficiente, uso de cores, alarmes, organização das variáveis e princípios de ergonomia e fatores humanos. Esses elementos foram essenciais para garantir a conformidade da nova aplicação, promovendo maior usabilidade, clareza e segurança operacional.

Também foram considerados estudos recentes sobre a evolução dos sistemas SCADA e a importância de soluções centradas no usuário, que apresenta uma abordagem voltada à adaptabilidade e à personalização das interfaces com foco em aumentar a consciência situacional do operador. (SVERKO & GRBAC, 2024)

No contexto da plataforma utilizada neste projeto, o AVEVA Edge foi analisado quanto às suas capacidades técnicas, aplicabilidade e acesso gratuito em ambientes didáticos. A ferramenta se destacou por oferecer uma licença de estudante com capacidade de até 4000 Tags, um ambiente de desenvolvimento amigável, com suporte a protocolos de comunicação industrial mais utilizados (como Modbus TCP e OPC) e funcionalidades avançadas de

visualização. Essas características foram decisivas para sua adoção, possibilitando a criação de um sistema supervisorio robusto, flexível e alinhado com os objetivos pedagógicos do projeto.

3.3 Desenvolvimento do Sistema Supervisorio

Com base nas informações obtidas nas etapas anteriores, iniciou-se o desenvolvimento do sistema supervisorio utilizando a plataforma AVEVA Edge, visando criar uma solução moderna, padronizada e compatível com os princípios estabelecidos na norma ISA 101. As atividades foram estruturadas em diferentes etapas metodológicas, que envolveram o planejamento da interface, configuração das variáveis, integração com a planta PD3 e a realização de testes práticos.

3.3.1 Disposição da Interface

A primeira etapa consistiu no planejamento da arquitetura das interfaces gráficas. Para essa definição, foi considerado o princípio de hierarquia de informações descrito na ISA 101, visando assegurar que o usuário possa acessar, de forma rápida e intuitiva, tanto a visão geral do processo quanto detalhes específicos de áreas ou equipamentos.

Decidiu-se por utilizar um menu de navegação lateral fixo à esquerda, disponível em todas as telas, para permitir que o operador acesse qualquer funcionalidade sem necessidade de retornar a telas intermediárias. Essa escolha foi motivada pela limitação observada no sistema anterior, onde a navegação se encontrava oculta, exigindo múltiplos cliques para chegar às informações desejadas, o que aumentava o tempo de resposta em situações operacionais críticas.

Além disso, foi incluído um cabeçalho superior fixo, destinado à exibição de alarmes mais recentes de alta prioridade. O objetivo é garantir que, independentemente da tela em uso, o operador seja capaz de identificar rapidamente situações anormais que demandem intervenção.

A área central das telas foi reservada à apresentação dos processos e comandos operacionais, seguindo os níveis hierárquicos recomendados pela ISA 101, com displays organizados desde a visão geral da planta até telas de áreas específicas. Também foram considerados os princípios de uso criterioso de cores, símbolos padronizados e a eliminação de informações não necessárias para não sobrecarregar o operador.

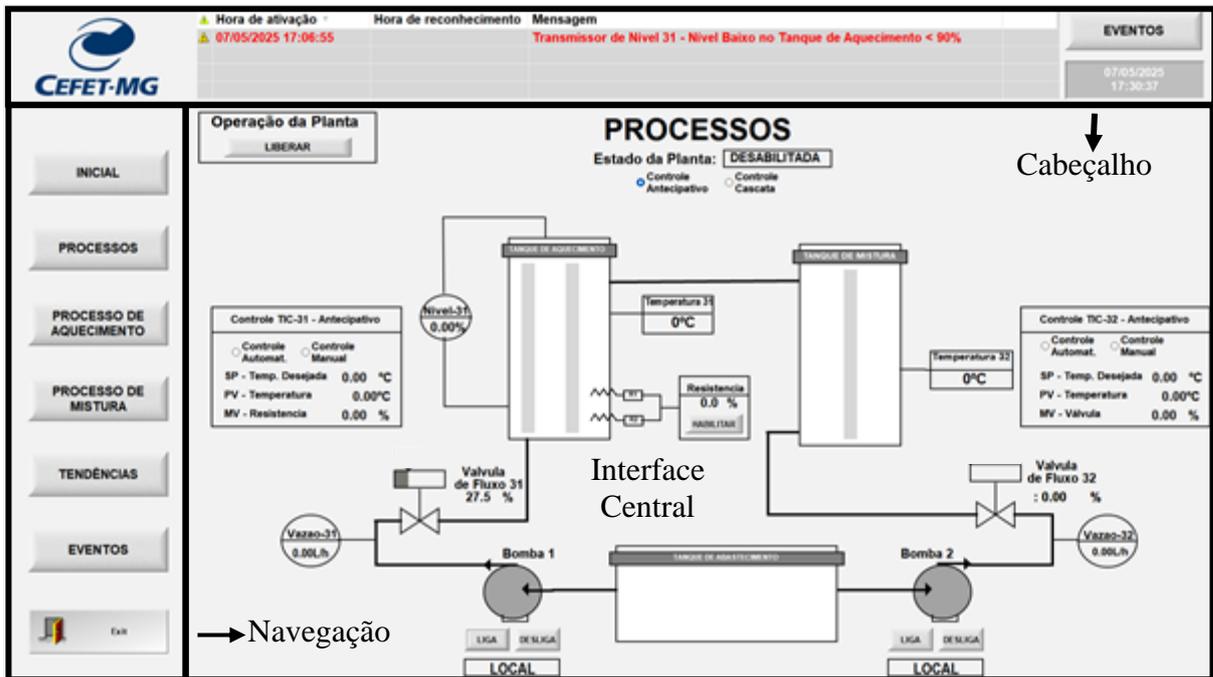


Figura 12 - Tela nível 1 destacando navegação, cabeçalho e interface central

FONTE: Autoria própria

3.3.2 Configuração de TAGs e Variáveis

Para a configuração das variáveis no sistema supervisório, foi adotada uma nomenclatura padronizada, baseada na norma ISA S5.1, para garantir uniformidade técnica e facilitar a identificação dos instrumentos por profissionais da área de automação. Essa padronização incluiu códigos como TIC para controladores de temperatura, FI para indicadores de vazão, entre outros, assegurando compatibilidade com documentos de engenharia e diagramas P&ID da planta.

O levantamento dos TAGs foi realizado por meio de duas abordagens principais: consulta ao supervisório existente (ProcessView - SYSTEM302), as variáveis e seus endereços OPC foram identificados e extraídos a partir da configuração do sistema supervisório atual; análise da lógica do controlador DF75, foi realizada a interpretação dos blocos de controle programados no CLP para confirmar o significado, os ranges e a dinâmica de cada variável, bem como a associação correta dos endereços OPC.

Posteriormente, no AVEVA Edge, as TAGs foram configuradas de forma descritiva na interface, substituindo nomenclaturas estritamente técnicas por textos mais claros e acessíveis

ao público didático, em consonância com as diretrizes da ISA 101, que recomenda evitar apresentar códigos técnicos isolados ao usuário final, quando não são de compreensão imediata.

3.3.3 Comunicação com a Planta via OPC

Para estabelecer a comunicação entre o novo sistema supervisório desenvolvido no AVEVA Edge e a planta didática SMAR PD3, optou-se pela utilização do protocolo OPC. Embora o AVEVA Edge possua suporte ao OPC DA, a grande limitação técnica encontrada foi que o servidor OPC DA do SYSTEM302 não permite acesso remoto, impondo que toda a supervisão fosse feita localmente no computador onde o SYSTEM302 estava instalado. Essa restrição inviabilizava a independência do novo supervisório.

Para superar essa limitação, foi utilizada a ferramenta OPC Expert, que atua como cliente OPC DA no computador que executa o SYSTEM302, e simultaneamente disponibiliza esses dados via OPC UA para outros dispositivos na rede. Dessa forma, o OPC Expert permitiu que o AVEVA Edge, executando em outro computador, pudesse acessar os dados da planta de forma remota, sem necessidade de depender da máquina física do SYSTEM302 para operação.

Foram estabelecidas as conexões físicas e lógicas entre o computador com o AVEVA Edge e a planta didática SMAR PD3, a fim de viabilizar a comunicação entre o novo sistema supervisório e os dispositivos de campo. A integração foi realizada utilizando o servidor OPC DA existente no computador com Windows 7, onde opera o SYSTEM302. O OPC Expert foi instalado e configurado nesse mesmo computador, passando a atuar simultaneamente como cliente OPC DA e servidor OPC UA, possibilitando a disponibilização dos dados para acesso remoto pelo AVEVA Edge.

A configuração incluiu a execução do OPC Expert como serviço do Windows, assegurando maior estabilidade e operação contínua. No computador com AVEVA Edge, foi realizada a configuração dos certificados digitais para estabelecer uma comunicação segura com o servidor OPC UA disponibilizado pelo OPC Expert. A interligação entre os sistemas foi feita através de uma rede local, conectada via switch Ethernet, sendo definidos IPs estáticos para ambos os computadores, a fim de garantir confiabilidade e estabilidade na comunicação de dados durante a operação do sistema supervisório.

3.4 Testes práticos no laboratório

Após a finalização do sistema supervisório desenvolvido no AVEVA Edge e a configuração da comunicação via OPC, foram realizados testes práticos no laboratório de automação do CEFET-MG, utilizando a planta didática SMAR PD3. Essa etapa teve como objetivo validar a funcionalidade do sistema, verificar a estabilidade da comunicação com os dispositivos de campo e avaliar a usabilidade das interfaces criadas com base nas diretrizes da norma ISA 101.

Durante os testes, foram simulados diferentes cenários operacionais, incluindo o controle de temperatura nos tanques, o acionamento de válvulas e bombas, e a leitura das variáveis como nível, temperatura e vazão. Também foram testadas as funções de visualização de alarmes, navegação entre telas e análise de tendências.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Durante o desenvolvimento deste trabalho, foram obtidos resultados relevantes em diversas etapas que refletem diretamente os objetivos propostos.

Inicialmente, a etapa de levantamento das características da planta didática SMAR PD3 permitiu reunir informações sobre sua estrutura física, lógica e operacional. A análise foi conduzida a partir de documentos técnicos fornecidos pela SMAR, incluindo o manual técnico da planta, diagramas de engenharia P&I, o descritivo de processo e a lógica de funcionamento do controlador DF75. A planta é composta por três etapas principais: o armazenamento da água no tanque de abastecimento, o aquecimento no tanque intermediário através de resistências elétricas, e o envio da água aquecida ao tanque de mistura, onde ocorre o controle de temperatura por meio de válvulas proporcionais e da modulação das resistências. Essas características possibilitaram compreender como os dispositivos interagem, inclusive na simulação de estratégias de controle em cascata e antecipativo, servindo de base técnica para o desenvolvimento do novo sistema supervisório.

Outro resultado importante refere-se à revisão bibliográfica realizada, a qual embasou teoricamente o projeto. Foram consultados artigos acadêmicos, livros, normas técnicas e materiais de automação industrial e desenvolvimento de sistemas SCADA. Destaca-se, sobretudo, a norma ISA 101, que fornece recomendações fundamentais para a criação de IHMs eficientes e intuitivas. A norma orientou as principais decisões no projeto do novo sistema, ao estabelecer princípios como o uso moderado de cores, a hierarquização das telas, a padronização de símbolos e a simplificação das informações visuais, reduzindo a sobrecarga cognitiva sobre o usuário. Também foram estudadas as capacidades do software AVEVA Edge, explorando recursos como portabilidade, interoperabilidade e flexibilidade para aplicações tanto industriais quanto didáticas.

A etapa de desenvolvimento do sistema supervisório resultou em um conjunto de interfaces gráficas no AVEVA Edge, planejadas para superar as deficiências observadas no supervisório original do Process View SYSTEM302. No sistema anterior, foram identificadas várias limitações visuais e operacionais, como excesso de cores sem critério técnico claro como visto na Figura 13, dificuldades de navegação, telas ilustrativas sem interatividade como a de eventos, apresentação de variáveis sob nomenclaturas técnicas e gráficos de tendências pouco intuitivos.

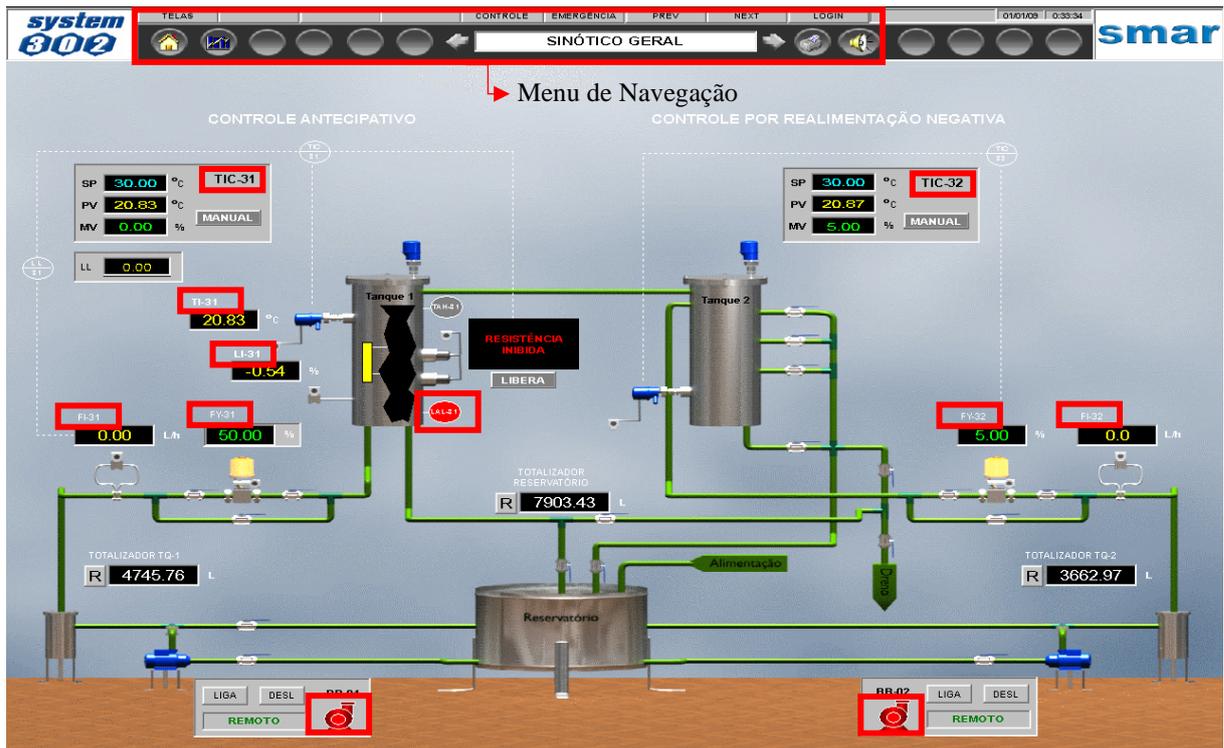


Figura 13 - Tela do Process View do Processo Geral

FONTE: Sistema de supervisão Process View System302

Para corrigir essas deficiências, o novo sistema foi desenvolvido em conformidade com as diretrizes da norma ISA 101, que recomenda uma apresentação clara, organizada e hierárquica das informações. Foram criadas telas divididas em níveis, começando por uma tela de apresentação que exibe a imagem da planta SMAR PD3 (Figura 14), seguida pela tela de visão geral de nível 1 (Figura 15), que consolida informações de tanques, instrumentos, variáveis de processo, comandos e status de alarmes. Essa visão geral facilita o acompanhamento global do processo sem exigir múltiplos acessos como ocorria anteriormente, como visto na figura 11, sendo necessário ir até o cabeçalho e passar as telas até chegar na desejada.



Figura 14 - Tela de Apresentação

FONTE: Autoria própria

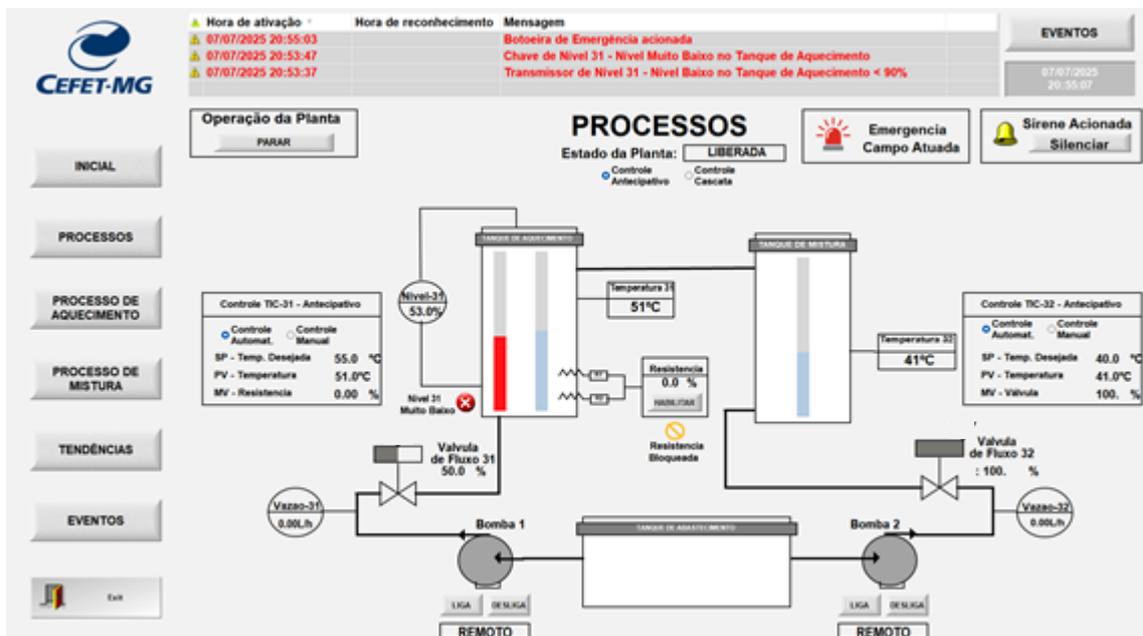


Figura 15 - Tela de Nível 1 Processos Gerais

FONTE: Autoria própria

Foram também desenvolvidas telas de nível 2, voltadas a representar visualmente subsistemas específicos, como o processo de aquecimento (Figura 16) e o processo de mistura (Figura 17). Essas telas mantêm a mesma organização e padrões gráficos definidos na visão

geral, mas isolam trechos do processo para facilitar o monitoramento localizado, sem a necessidade de navegar por toda a tela principal. Embora não apresentem um volume adicional de informações, essas telas contribuem para uma operação mais clara e objetiva, permitindo ao usuário focar em partes específicas da planta com menos elementos visuais simultâneos.

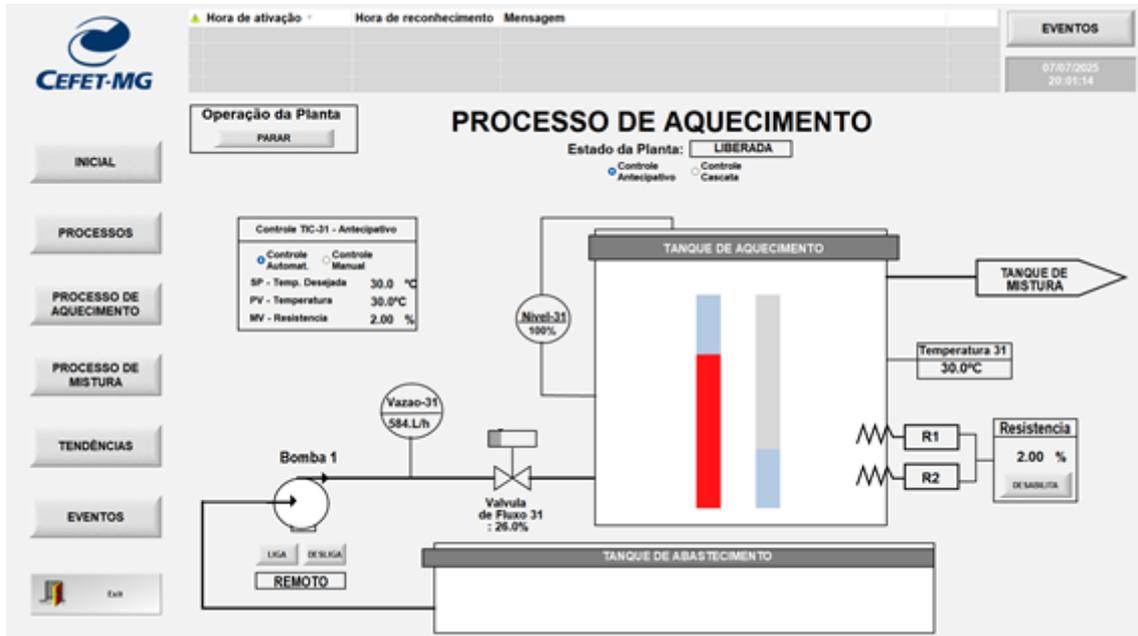


Figura 16 - Tela de Nível 2 Processo de Aquecimento

FONTE: Autoria própria

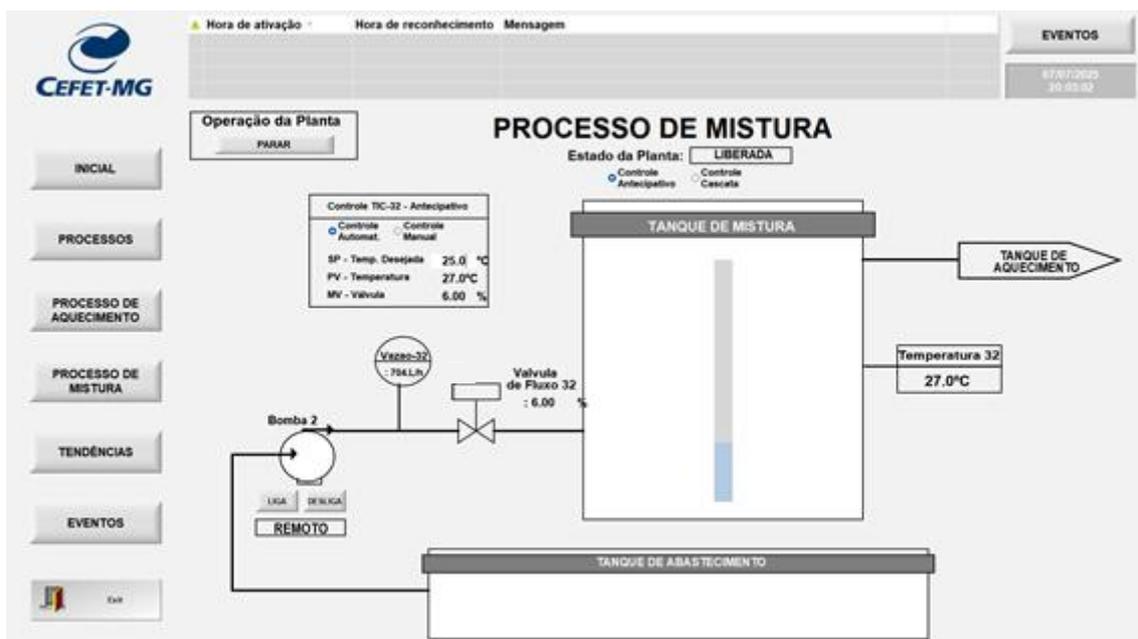


Figura 17 - Tela de Nível 2 Processo de Mistura

FONTE: Autoria própria

Para todas essas telas, as cores foram definidas em conformidade com a ISA 101: branco foi utilizado para estados ligados ou ativos, cinza para estados desligados ou inativos, vermelho para situações de alarme e amarelo para condições de advertência, assegurando contraste adequado e facilitando a percepção situacional do operador. Também foi evitado o uso direto de nomenclaturas técnicas ou códigos de TAGs na interface visual, substituindo-os por descrições mais claras e intuitivas, prática incentivada pela ISA 101 para reduzir a carga cognitiva dos usuários, especialmente em ambientes didáticos.

Um dos avanços mais relevantes no novo sistema foi a implementação de um cabeçalho fixo em todas as telas, onde são exibidos os alarmes de alta prioridade, garantindo que situações críticas sejam imediatamente perceptíveis, em conformidade com a norma ISA 101, que recomenda visibilidade constante para alarmes que exijam ação rápida do operador, além de alarmes visíveis na interface gráfica com cores chamativas e a utilização de símbolos representativos, conforme apresentado na tabela de símbolos abaixo. No supervisório anterior, essa visualização exigia navegação até telas específicas, como visto na Figura 18 e na tela de processos que trazia os alarmes de uma forma não muito clara, o que podia retardar a resposta a situações críticas.

Tabela 2 - Lista de símbolos utilizados na interface gráfica

Símbolos	Representação
	Alarme de alta prioridade
	Alerta
	Emergência
	Sirene

HORA/ DATA	TAG	DESCRIÇÃO	DURAÇÃO	RECONHECIMENTO	ÁREA
12:06:57 AM 1/1/2009	LIT-31: Nível Baixo Tran	LIT-31: Nível Baixo Transmissor	0 00:27:24		PD3
12:06:57 AM 1/1/2009	LIT-31: Nível Baixo Chav	LIT-31: Nível Baixo Chave de Nível	0 00:27:24		PD3

Figura 18 – Tela de alarmes do Process View

FONTE: Sistema de supervisão Process View System302

Outro destaque foi o desenvolvimento da tela de eventos, que no sistema anterior era apenas uma imagem ilustrativa como apresentado na Figura 2, sem qualquer funcionalidade real. No novo supervisório, essa tela passou a registrar todos os eventos situacionais da planta, como alarmes de baixa e alta prioridade, mudanças de estado da planta (de operando para parada, por exemplo), e alterações no estado das bombas. Essa funcionalidade auxilia no diagnóstico e histórico operacional, ao permitir que os usuários compreendam não apenas o estado atual, mas também a sequência de acontecimentos que levou determinada condição a ocorrer.

CEFET-MG

Hora de ativação	Hora de reconhecimento	Mensagem
07/07/2025 23:24:15		Transmissor de Nivel 31 - Nivel Baixo no Tanque de Aquecimento < 90%

EVENTOS

07/07/2025
23:39:28

LISTA DE EVENTOS

Hora de ativação	Mensagem
07/07/2025 23:24:15	Transmissor de Nivel 31 - Nivel Baixo no Tanque de Aquecimento < 90%
07/07/2025 20:53:47	Chave de Nivel 31 - Nivel Muito Baixo no Tanque de Aquecimento
07/07/2025 20:53:37	Transmissor de Nivel 31 - Nivel Baixo no Tanque de Aquecimento < 90%
07/07/2025 20:45:26	Bomba 01 Ligada
07/07/2025 20:45:26	Bomba 02 Ligada
07/07/2025 20:45:26	Planta liberada para operação
07/07/2025 20:45:26	Bomba 02 Ligada
07/07/2025 20:45:26	Bomba 01 Ligada
07/07/2025 20:38:57	Bomba 02 Ligada
07/07/2025 20:38:57	Bomba 01 Ligada
07/07/2025 20:38:57	Planta liberada para operação
07/07/2025 20:26:00	Planta liberada para operação
07/07/2025 20:26:00	Bomba 02 Ligada
07/07/2025 20:26:00	Bomba 01 Ligada
07/07/2025 20:24:19	Bomba 02 Ligada
07/07/2025 20:24:19	Bomba 01 Ligada
07/07/2025 20:24:19	Planta liberada para operação
07/07/2025 20:10:45	Bomba 02 Ligada
07/07/2025 20:10:45	Bomba 01 Ligada
07/07/2025 20:10:45	Planta liberada para operação
07/07/2025 20:07:03	Bomba 01 Ligada
07/07/2025 20:07:03	Bomba 01 Ligada
07/07/2025 20:06:27	Chave de Nivel 31 - Nivel Muito Baixo no Tanque de Aquecimento
07/07/2025 20:06:27	Chave de Nivel 31 - Nivel Muito Baixo no Tanque de Aquecimento
07/07/2025 20:06:27	Chave de Nivel 31 - Nivel Muito Baixo no Tanque de Aquecimento
07/07/2025 20:06:19	Transmissor de Nivel 31 - Nivel Baixo no Tanque de Aquecimento < 90%
07/07/2025 20:06:19	Transmissor de Nivel 31 - Nivel Baixo no Tanque de Aquecimento < 90%
07/07/2025 20:06:19	Transmissor de Nivel 31 - Nivel Baixo no Tanque de Aquecimento < 90%

Figura 19 – Tela de Eventos do Projeto

FONTE: Autoria própria

Além disso, a tela de tendências foi completamente redesenhada. Enquanto no supervisor antigo os gráficos eram pouco intuitivos e complexos de configurar (Figura 20), no novo sistema a visualização histórica das variáveis foi implementada de forma mais clara e acessível, possibilitando que o usuário selecione facilmente as variáveis desejadas e acompanhe seu comportamento ao longo do tempo. Esse recurso facilita a análise de performance do processo, a identificação de desvios e a tomada de decisões baseadas em dados.

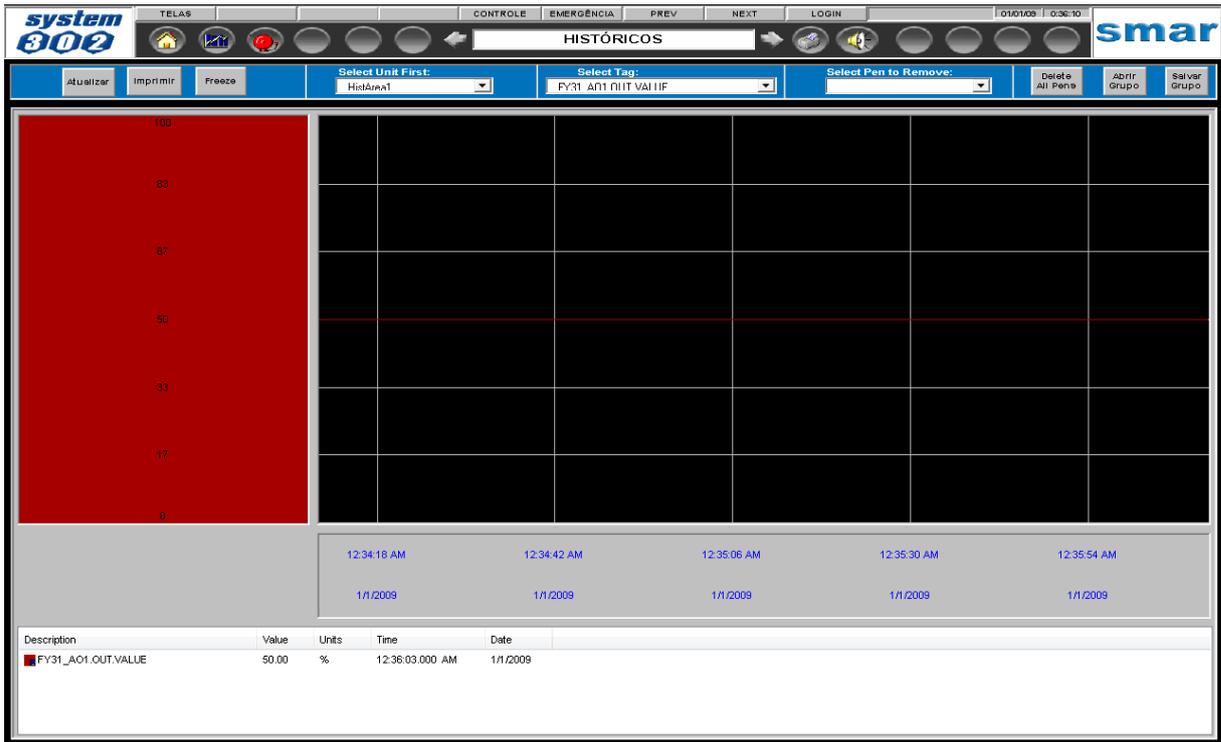


Figura 20 – Tela de Tendências do Process View

FONTE: Sistema de supervisão Process View System302

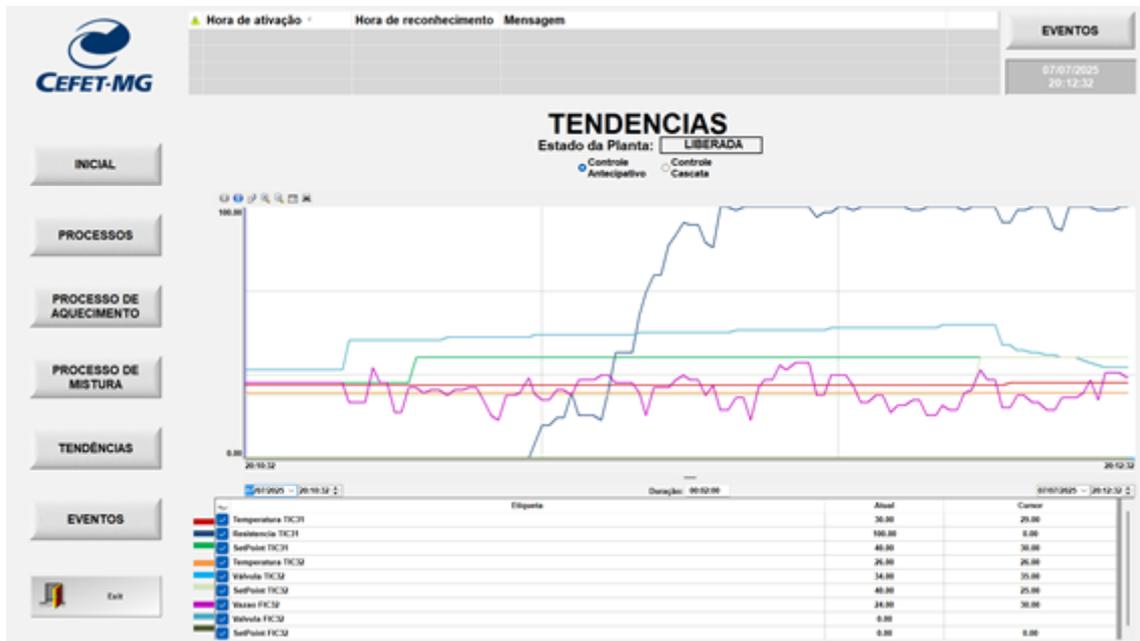


Figura 21 - Tela de Tendências do Projeto

FONTE: Autoria própria

Com essas implementações, o novo supervisor passa a oferecer recursos que não apenas melhoram a operação em tempo real, mas também viabilizam a análise histórica e o

diagnóstico detalhado de eventos, superando as limitações do sistema anterior e atendendo às exigências de clareza, ergonomia e segurança definidas pela norma ISA 101.

Outro resultado fundamental foi o levantamento e a configuração das variáveis do sistema. A identificação dos TAGs exigiu a análise tanto do supervisório SMAR existente quanto da lógica interna do controlador DF75. Para garantir precisão, foram validados os endereços OPC correspondentes no SYSTEM302 e configurados corretamente no AVEVA Edge, assegurando que todas as variáveis do novo sistema representassem o comportamento real da planta. O quadro de TAGs levantado constitui um resultado e está representado na Tabela 3 para registrar a base técnica sobre a qual o novo supervisório foi implementado.

Tabela 3 - TAGs configurados no sistema

TAG	TIPO	DESCRIÇÃO
TIC_31_PV	Real	Indicador de Temperatura 31 do TQ de Aquecimento
LI_31	Real	Indicador de Nivel 31 do TQ de Aquecimento
TSH_31	Booleana	Termostato de temperatura muito Alta 31 TQ de Aquecimento
LSL_31	Booleana	Chave de Nivel muito Baixo 31 TQ de Aquecimento
FY_31	Real	Porcentagem de Abertura da Valvula de controle 31 TQ de Aquecimento
FI_31	Real	Indicação de Vazão de Água 31 para o TQ de Aquecimento
TOTALIZADOR_31	Real	Totalizador de Vazão de Água para o TQ de Aquecimento
TIC_31_SP	Real	Set_point da Temperatura do TIC_31
TIC_31_MV	Real	Resistência de Aquecimento MV do TIC_31
FY_32	Real	Porcentagem de Abertura da Valvula - Comando MV quando PID estiver antecipativo
FI_32	Real	Indicação de Vazão de Água 31 para o TQ de Mistura
TOTALIZADOR_32	Real	Totalizador de Vazão de Água para o TQ de Mistura
TIC_32_SP	Real	Set_point da Temperatura do TIC_32 antecipativo
STATUS_BM_01	Booleana	BM_01 LIGADA = 1 DESLIGADA=0
TIC_32_PV	Real	Indicador de Temperatura 32 do TQ de Mistura
TIC_31_PID_AUTO_MANUAL	String	Seleciona PID do TIC_31 Manual = 16 Automatico = 8
FIC_32_PID1_AUTO_MANUAL	String	Seleciona PID do TIC_32 Cascata Manual = 16 Automatico = 8

SEL_CASCATA_ANTECIPATIVO	Booleana	Seleciona Controle em Cascata=1 ou Antecipativo=0
BM_01_LIGA	Booleana	Comando de LIGA da BM_01
BM_01_DESLIGA	Booleana	Comando de DESLIGA da BM_01
BM_02_LIGA	Booleana	Comando de LIGA da BM_02
BM_02_DESLIGA	Booleana	Comando de DESLIGA da BM_02
ACIONA_EMERGENCIA_REMOTO	Booleana	Botoeira de Emergencia via supervisorio
EMERGENCIA_ATUADA	Booleana	Emergencia de campo Atuada
BM_LOCAL_REMOTO	Booleana	Status de Local=0 Remoto=1
STATUS_BM_02	Booleana	BM_02 LIGADA = 1 DESLIGADA=0
TIC_31_MV_HABILITA_DESABILITA	Booleana	Habilita Resistencia = 1 Desabilita = 0
SIRENE_STATUS	Booleana	Status da Sirene
SIRENE_SILENCIA	Booleana	Silencia a Sirene
LIBERA_EMERG_REMOTO	Booleana	Libera Emergencia Remota
FALHA_BM01	Booleana	Falha BM01 - Termico atuado
FALHA_BM02	Booleana	Falha BM02 - Termico atuado
TIT_31_ALM_TAH	Booleana	Transmissor de Temperatura 31 - Temperatura Alta
TIT_32_ALM_TAH	Booleana	Transmissor de Temperatura 32 - Temperatura Alta
TIC_31_MV_DESABILITA	Booleana	Desabilita = 0
STATUS_LIBERA_REMOTO	Booleana	STATUS = 1 LIBERADO STATUS = 0 PARADO
STATUS_RESIST_LIBERADA	Booleana	RESISTENCIA LIBERADA
TIC_32_PID2_AUTO_MANUAL	String	Seleciona PID do FIC_32 Antecip. Manual = 16 Automatico = 8
FIC_32_MV_PID1	Real	Porcentagem de Abertura da Valvula - Comando MV quando PID estiver cascata
TIC_32_SP_PID1	Real	Set_point da Temperatura do TIC_32 CASCATA
TIC_32_PID1_AUTO_MANUAL	String	Seleciona PID do FIC_32 Cascata Manual = 16 Automatico = 8
PV_FIC_32_PID1	Real	Porcentagem da vazão - quando estiver em cascata
SPL_FIC_32_PID1	Real	SetPoint da vazão desejada
SPR_FIC_32_PID1	Real	SetPoint da vazão desejada
FY_32_PID1	Real	MV do controle em cascata

A integração entre o AVEVA Edge e a planta PD3 foi viabilizada através do uso do protocolo OPC. Apesar do AVEVA Edge oferecer suporte ao OPC DA, o servidor OPC DA do SYSTEM302 não permite acesso remoto, restringindo sua utilização ao próprio computador onde o sistema está instalado. Para superar essa limitação, foi utilizado o software OPC Expert, que atuou como cliente OPC DA no computador com o SYSTEM302 e simultaneamente como servidor OPC UA, permitindo o acesso remoto aos dados pelo AVEVA Edge em outro computador. O processo envolveu a instalação do OPC Expert, a sua execução como serviço

do Windows, a gestão dos certificados digitais e a configuração de uma rede local através de um switch Ethernet com endereços IP estáticos nas máquinas, assegurando uma comunicação efetiva. A tela do OPC Expert, que exibe os servidores OPC disponíveis, pode ser vista na Figura 22, ilustrando a configuração bem-sucedida do ambiente de comunicação.

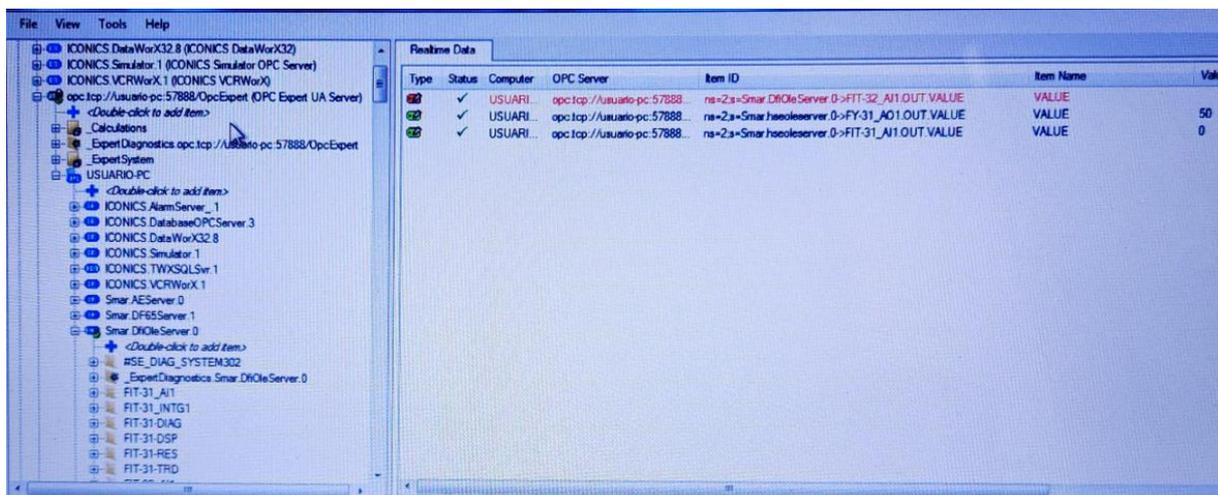


Figura 22 – Servidor OPC Expert

FONTE: Software OPC Expert

Durante os testes práticos no laboratório, foi constatado que a comunicação entre o AVEVA Edge e a planta SMAR PD3 ocorreu de forma estável, permitindo a leitura e a escrita das variáveis em tempo real. Foram realizados ensaios abrangendo o acionamento de bombas, ajustes de setpoints de temperatura, leitura de variáveis como nível, temperatura e vazão, navegação entre telas e análise de tendências históricas. As variáveis responderam corretamente e o desempenho do sistema foi considerado satisfatório. Contudo, verificou-se que a leitura das variáveis do tipo real não estava apresentando casas decimais na interface gráfica, restringindo a visualização aos valores inteiros. Entretanto, por se tratar de um ambiente didático, a exibição desses valores como inteiros atende à demanda pedagógica sem comprometer a compreensão do processo.

No geral, os resultados obtidos demonstraram que o novo sistema supervisório desenvolvido no AVEVA Edge superou as limitações observadas no sistema anterior, proporcionando maior clareza visual, melhor organização da informação e aderência às recomendações da ISA 101, além de atender aos objetivos do projeto e às exigências didáticas do ambiente em que será aplicado.

5 CONCLUSÕES

Diante do exposto, conclui-se que o desenvolvimento de um novo sistema supervisório para a planta didática SMAR PD3 utilizando o AVEVA Edge atendeu aos objetivos estabelecidos neste trabalho, substituindo o sistema anterior baseado no Process View do System302 e corrigindo limitações visuais e operacionais identificadas no levantamento inicial.

O projeto buscou alinhar o supervisório às recomendações da norma ISA 101, sobretudo no que se refere à organização hierárquica das telas, ao uso adequado de cores, à clareza das informações e à melhoria da percepção situacional do usuário, aspectos fundamentais para reduzir erros, agilizar diagnósticos e proporcionar maior segurança e eficiência na operação.

O novo supervisório apresentou avanços, incluindo a criação de telas mais limpas e intuitivas, a implementação de um cabeçalho fixo para alarmes de alta prioridade, o desenvolvimento de uma tela de eventos funcional — antes inexistente — e gráficos de tendência mais claros e fáceis de configurar. A comunicação entre o AVEVA Edge e a planta PD3 foi implementada com sucesso por meio da ponte OPC Expert, eliminando a necessidade do uso de máquinas virtuais e ampliando a flexibilidade para acessos simultâneos ao servidor. O mapeamento criterioso das variáveis de processo assegurou que o novo sistema refletisse com precisão o comportamento real da planta, garantindo confiabilidade na supervisão e no controle.

Observou-se, entretanto, uma limitação técnica relacionada à exibição de valores analógicos no novo supervisório. Durante os testes, verificou-se que as variáveis do tipo real não estavam apresentando casas decimais na interface gráfica, limitando a visualização a valores inteiros. Embora essa limitação não comprometa o uso do sistema para fins didáticos, principalmente em se tratando de variáveis de temperatura, representa um ponto que poderá ser aprimorado em versões futuras, para possibilitar leituras mais precisas em aplicações industriais ou acadêmicas que demandem maior resolução nos dados.

Diante dos avanços obtidos com o novo sistema supervisório, surgem diversas possibilidades de continuidade e aprofundamento deste trabalho, sobretudo voltadas ao enriquecimento do caráter didático e técnico da planta SMAR PD3. Uma linha importante seria a realização de estudos comparativos formais entre o novo supervisório e o sistema anterior, avaliando critérios estabelecidos pela norma ISA 101, como clareza das interfaces, organização hierárquica das telas, tempo de localização das informações críticas e capacidade de percepção situacional. Essa comparação poderia incluir ensaios práticos com diferentes usuários ao

mesmo tempo para quantificar melhorias na interpretação dos dados, rapidez nas ações corretivas e segurança operacional, contribuindo não apenas para validar tecnicamente o novo supervisório, mas também para sua eficácia no contexto educacional.

Outra possibilidade é o aprofundamento do desenvolvimento das telas do sistema, estendendo os níveis hierárquicos previstos pela ISA 101. Por exemplo, seria viável implementar displays de nível 4, dedicados a instrumentos específicos, exibindo detalhes técnicos como parâmetros de configuração, tempo de resposta a perturbações e status de diagnósticos internos dos dispositivos. Além disso, telas de diagnóstico poderiam oferecer informações de manutenção, alertas preventivos ou dados sobre o histórico de falhas dos equipamentos, tornando o supervisório não apenas uma ferramenta de operação, mas também de ensino sobre instrumentação e manutenção industrial.

Também se destaca a oportunidade de utilizar o novo sistema como base para estudos de análise comparativa entre as duas estratégias de controle implementadas na planta — controle antecipativo e controle em cascata. Estudos dedicados poderiam avaliar, em diferentes condições operacionais, a performance, o tempo de resposta, a robustez frente a perturbações e a estabilidade de cada abordagem. Esse trabalho traria grande contribuição tanto ao ensino quanto à prática industrial, permitindo que os alunos compreendam as vantagens e limitações de cada estratégia e saibam selecionar a mais adequada para diferentes tipos de processos.

Conclui-se, portanto, que o supervisório desenvolvido no AVEVA Edge representa não apenas uma atualização tecnológica, mas também um avanço pedagógico significativo, tornando o ambiente de ensino mais moderno, flexível e alinhado às melhores práticas da engenharia de automação.

REFERÊNCIAS

- ANSI/ISA-101.01. (2015). *Human Machine Interfaces for Process Automation Systems*.
- ANSI/ISA-5.1. (2024). *Instrumentation Symbols and Identification*.
- Aula 01 - Introdução aos Controladores Lógicos Programáveis*. (2015). Fonte: Metropole Digital: <https://materialpublic.imd.ufrn.br/curso/disciplina/1/60/1/5>
- AVEVA Edge. (2020). *AVEVA GROUP*. Fonte: <https://www.aveva.com/en/products/edge/>
- CHOQUETTE, G. E. (24 de Março de 2015). Tag Naming Conventions and Data Structures for Industrial PLCs. Optimized Technical Solutions, LLC.
- COELHO, M. S. (2010). *Sistemas Supervisórios*. São Paulo: Instituto Federal de São Paulo.
- DE MORAES, C. C., & CASTRUCCI, P. D. (2007). *Engenharia de Automação Industrial*. Rio de Janeiro: LTC.
- DURANSO, Gregory. (2020). *What is High-Performance HMI?* Fonte: RealPars: <https://www.realpars.com/blog/high-performance-hmi>
- GARCIA JUNIOR, E. (2019). *Introdução A Sistemas De Supervisão, Controle e Aquisição de Dados - Scada*. Alta Books Editora.
- GOETZ, H. F. (25 de Março de 2019). *Metodologia para Desenvolvimento de IHMs de Alta Performance Visual*. Fonte: Elipse Knowledgebase: <https://kb.elipse.com.br/metodologia-para-desenvolvimento-de-ihms-de-alta-performance-visual/>
- HELERBROCK, R., & NEVES, D. (2017). *Acidente de Chernobyl*. Fonte: Brasil Escola: <https://brasilestola.uol.com.br/historia/chernobyl-acidente-nuclear.htm>
- IEC. (2003). *IEC 61131-3: Programmable Controllers - Part 3: Programming Languages*. IEC.
- Introdução aos Controladores Lógicos Programáveis*. (2015). Fonte: Metropole Digital: <https://materialpublic.imd.ufrn.br/curso/disciplina/1/60/1/4>
- ISA Distrito 4. (2017). *Introdução à norma ISA 101: Interfaces Homem-Máquina*. Fonte: ISA: <https://isasp.org.br/wp-content/uploads/2020/01/ISA-101-III-Simp%C3%B3sio-ISA-S%C3%A3o-Paulo-Sabesp-Nov2016.pdf>
- SMAR. (2012). *SMAR PD3- FOUNDATION™ Fieldbus*. Fonte: Manual de Instrução, operação e manutenção: <https://www.smar.com.br/pt/produto/pd3-302-planta-didatica-foundation-fieldbus>
- SVERKO, M., & GRBAC, T. G. (2024). Automated HMI design as a custom feature in industrial SCADA system. *ELSEVIER*, 1790-1798.



CÓPIA DO TRABALHO Nº 154/2025 - DELMAX (11.57.05)

(Nº do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)

(Assinado digitalmente em 25/07/2025 14:38)

FREDERICO DUARTE FAGUNDES
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
DELMAX (11.57.05)
Matrícula: ###071#5

Visualize o documento original em <https://sig.cefetmg.br/documentos/> informando seu número: **154**, ano: **2025**, tipo:
CÓPIA DO TRABALHO, data de emissão: **25/07/2025** e o código de verificação: **3af1eb8fdc**