

INSTITUTO FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

SÉRGIO AUGUSTO RICATO MUSSO

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA SUPERVISÓRIO COM A
BIBLIOTECA LIBRARY FOR BASIC PROCESSES UTILIZANDO A
FERRAMENTA SIVARC PARA UM SISTEMA DE TRATAMENTO
DE ÁGUA**

Linhares - ES

2025

SÉRGIO AUGUSTO RICATO MUSSO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenadoria do Curso de Engenharia de Controle e Automação do Instituto Federal do Espírito Santo - *campus* Linhares, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação.

Orientador: Prof. Me. Carlos Jones Rebello Junior

Linhares - ES

2025

(Biblioteca do Campus Linhares)

M989d Musso, Sérgio Augusto Ricato.

Desenvolvimento de um sistema supervisorio com a biblioteca library for basic processes utilizando a ferramenta Sivarç para um sistema de tratamento de água. / Sérgio Augusto Ricato Musso. - 2025.
48 f. : il. ; 2MB.

Orientador: Carlos Jones Rebello Junior

TCC (Graduação) Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Linhares, Engenharia de Controle e Automação, 2025.

1. Automação industrial. 2. Tratamento de água. 3. Automação de processos. 4. Sistemas supervisorios. I. Rebello Junior, Carlos Jones. II. Título III. Instituto Federal do Espírito Santo.

CDD: 629.892

SÉRGIO AUGUSTO RICATO MUSSO


**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA SUPERVISÓRIO COM A BIBLIOTECA
LIBRARY FOR BASIC PROCESSES UTILIZANDO A FERRAMENTA SIVARC
PARA UM SISTEMA DE TRATAMENTO DE ÁGUA**

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro de Controle e Automação pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, e aprovado na sua forma final pela comissão avaliadora abaixo indicada.

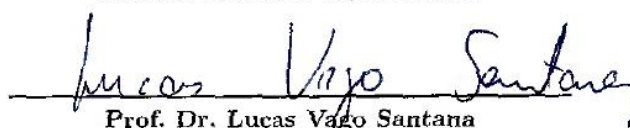
Linhares - ES, 25 de Junho de 2025:



Prof. Me. Carlos Jones Rebello Junior
Orientador
Instituto Federal do Espírito Santo



Prof. Me. Luciano Leonardo Sampaio Fortes
Convidado 1
Instituto Federal do Espírito Santo



Prof. Dr. Lucas Vago Santana
Convidado 2
Instituto Federal do Espírito Santo

Este trabalho é dedicado à minha família por todo suporte e principalmente as cobranças durante toda minha jornada acadêmica.

Agradecimentos

Em primeiro lugar agradeço a Deus, autor e consumidor da nossa fé, que me concedeu saúde e condições de cursar esta faculdade, nunca me deixou faltar nada mesmo em momentos mais difíceis. Também o agradeço pela vida dos meus pais, Angela Maria Ricato Musso e José Sérgio Augusto Rogério Loureiro Musso, sustentáculos incontestes da minha constituição moral e civil. A meu pai agradeço por sempre me exigir aquele 0,1 ponto faltante para nota máxima em todas atividades da minha vida escolar e à minha mãe por todo carinho e orações.

Agradeço a meu tio Genaro Luiz Musso, por todo apoio concedido, assim como suas orientações sobre a vida profissional. Agradeço a minha irmã Juliana e meu cunhado Jessé por todas maravilhosas conversas que me motivam a continuar na área de tecnologia.

Agradeço ao meu orientador Carlos Jones Rebello Junior por toda orientação e ajuda neste trabalho, assim como em todo período de curso.

Agradeço aos amigos que fiz nesta caminhada e que certamente estarão comigo por longas datas.

*“Não estejais inquietos por coisa alguma; antes,
as vossas petições sejam em tudo conhecidas diante
de Deus, pela oração e súplicas, com ação de graças.
E a paz de Deus, que excede todo o entendimento, guardará
os vossos corações e os vossos sentimentos em Cristo Jesus“
(Bíblia Sagrada, Filipenses 4, 6-7)*

Resumo

A crescente complexidade dos processos industriais tem impulsionado o uso de sistemas supervisórios como ferramentas fundamentais para a operação eficiente, segura e padronizada de plantas fabris. Esses sistemas permitem o monitoramento e o controle em tempo real de variáveis críticas de processo, promovendo maior confiabilidade e agilidade na tomada de decisões. No setor de saneamento e meio ambiente, especialmente em estações de tratamento de água, a Automação exerce um papel essencial na garantia da qualidade do produto final e na redução de desperdícios de produtos. O presente trabalho tem como foco o desenvolvimento de um sistema supervisório para uma planta de reuso de água, implementado no ambiente TIA Portal v17. A metodologia empregada incluiu a adaptação e aprimoramento da biblioteca *Library for Basic Processes* com modificações nos blocos de entrada analógica e controle de motores, bem como a personalização dos *faceplates* conforme as diretrizes da norma ISA 101. Além disso, o trabalho envolveu a criação de objetos gráficos com base nos diagramas *Piping and Instrumentation Diagram* da planta, promovendo uma interface fiel à realidade do processo físico. O sistema final foi validado com a construção de telas funcionais que abrangem diferentes setores da planta, permitindo o controle, o acompanhamento de variáveis operacionais e a visualização de alarmes. O uso combinado das ferramentas descritas demonstrou ser eficaz para a redução do tempo de engenharia, aumento da flexibilidade operacional e melhoria da experiência do operador.

Palavras-chave: Sistema Supervisório, Biblioteca LBP, TIA Portal, Sivarc, Tratamento de água.

Abstract

The increasing complexity of industrial processes has driven the use of supervisory systems as essential tools for the efficient, safe, and standardized operation of production plants. These systems enable real-time monitoring and control of critical process variables, enhancing reliability and agility in decision-making. In the sanitation and environmental sectors, particularly in water treatment plants, automation plays a key role in ensuring the quality of the final product and reducing operational waste. This study focuses on the development of a supervisory system for a water reuse plant, implemented using the TIA Portal v17. The adopted methodology involved adapting and improving the Library for Basic Processes, including modifications to analog input blocks and motor control, as well as customizing faceplates according to ISA 101 guidelines. Additionally, the project involved creating graphical objects based on the plant's Piping and Instrumentation Diagrams, resulting in an interface that accurately reflects the physical process. The final system was validated through the construction of functional screens covering different sectors of the plant, enabling control, monitoring of operational variables, and alarm visualization. The combined use of the described tools proved effective in reducing engineering time, increasing operational flexibility, and enhancing the operator's user experience.

Keywords: Supervisory System, Library for Basic Processes, TIA Portal, Sivarc, Water Treatment.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Diagrama do “ <i>simple test setup with overlay current</i> ” em relés de proteção nos anos 1950.	16
Figura 2 – Evolução da automação.	17
Figura 3 – Lei de Moore até 2011.	17
Figura 4 – Pirâmide da automação industrial.	21
Figura 5 – As 4 linguagens com a mesma lógica de programa.	23
Figura 6 – <i>Overview</i> da planta industrial de tratamento de água.	23
Figura 7 – Usabilidade.	25
Figura 8 – Cores para objetos.	25
Figura 9 – Exemplo da biblioteca LBP com blocos para PLC e para SCADA	28
Figura 10 – Bloco de leitura de valores analógicos.	29
Figura 11 – Configuração do bloco de leitura de valores analógicos.	29
Figura 12 – Código interno do bloco de leitura de valores analógicos.	30
Figura 13 – Bloco de leitura de valores analógicos alterado.	30
Figura 14 – <i>Popups</i> de motor com inversor de frequência.	32
Figura 15 – Versões da LBP para os estados do motor.	32
Figura 16 – Tela do supervisor referente ao recebimento de efluente industrial e o FAD.	34
Figura 17 – P&ID referente ao tanque de recebimento de efluente industrial.	34
Figura 18 – P&ID referente ao FAD.	35
Figura 19 – Lista de alarmes da planta.	36
Figura 20 – Compilação bem sucedida dos blocos de lógica.	37
Figura 21 – Lista de regras do <i>SIMATIC Visualization Architec</i> (Sivarc).	37
Figura 22 – Matriz de geração de <i>faceplates</i> .	37
Figura 23 – Botão do Sivarc.	38
Figura 24 – Tela dos <i>faceplates</i> gerados pelo Sivarc.	38
Figura 25 – Tela de volumes.	39
Figura 26 – Tela do FAD.	40
Figura 27 – Tela do prensa lodo.	40
Figura 28 – Tela do reator biológico.	41
Figura 29 – Tela do reator MBR.	41
Figura 30 – Tela do tanque pulmão.	42
Figura 31 – Tela das elevatórias.	42
Figura 32 – Tela da osmose reversa.	43

Lista de abreviaturas e siglas

GM <i>General Motors</i>	15
PLC <i>Programmable Logic Controller</i>	16
CPU <i>Central Process Unit</i>	19
RJ45 <i>Registered Jack - 45</i>	20
IEEE <i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>	20
VLAN <i>Virtual Local Area Network</i>	21
RPI <i>Requested Packet Interval</i>	21
TI <i>Tecnologia da Informação</i>	21
SDCD <i>Sistema Digital de Controle Distribuído</i>	22
SCADA <i>Supervisory Control And Data Acquisition</i>	22
IHM <i>Interface Homem Máquina</i>	22
MES <i>Manufacturing Execution Systems</i>	22
ERP <i>Enterprise Resource Planning</i>	22
BI <i>Business Intelligence</i>	22
IEC <i>International Electrotechnical Commission</i>	22
LD <i>Ladder Diagram</i>	19
FBD <i>Function block diagram</i>	19

SFC <i>Sequential Function Chart</i>	19
ST <i>Structured Text</i>	19
IL <i>Instruction List</i>	19
ISA <i>International Society of Automation</i>	24
Sivarc <i>SIMATIC Visualization Architec</i>	9
LBP <i>Library for Basic Processes</i>	27
PID <i>Proportional Integral Derivative</i>	28
SVG <i>Scalable Vector Graphics</i>	32
P&ID <i>Piping and Instrumentation Diagram</i>	33
pH <i>Potencial Hidrogeniônico</i>	35
RAS <i>Return Activated Sludge</i>	41
MBR <i>Membrane Bioreactor</i>	41
FAD <i>Flotador de Ar Dissolvido</i>	35
RGB <i>Red Blue Green</i>	45
TIA <i>Totally Integrated Automation</i>	14

Sumário

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Objetivo geral	14
1.1.1	Objetivos específicos	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	Início da Automação	15
2.1.1	Relés	16
2.1.2	Circuito Integrado	16
2.1.3	Controle de Processos	18
2.2	Controlador Lógico Programável	18
2.3	Protocolos	19
2.4	Hierarquia	21
2.5	Linguagem de programação	22
2.6	<i>Supervisory Control And Data Acquisition</i>	23
2.6.1	<i>Hardware</i>	23
2.6.2	<i>Software</i>	24
2.7	ISA 101	24
3	MATERIAIS E MÉTODOS	27
3.1	Ferramentas	27
3.1.1	<i>TIA Portal v17</i>	27
3.1.2	Microsoft Excel	27
3.2	<i>Library for Basic Processes</i>	27
3.3	Melhorias na biblioteca LBP	28
3.3.1	Bloco de Entrada Analógica	28
3.3.2	Bloco de Controle de Motores	31
3.3.3	<i>Faceplates</i> dos elementos de controle	32
3.4	Desenvolvimento das telas	33
3.4.1	Metodologia de criação dos objetos estáticos	33
3.4.1.1	Base de Referência: P&ID	33
3.4.1.2	Etapas	33
3.4.1.3	Resultado	34
3.5	Sivarc - Geração dos elementos dinâmicos	36
3.5.1	Preparação	36
3.5.2	Lista de regras	36
3.5.3	Disposição dos elementos	38
3.6	Sistema de Controle e Supervisão finalizado	38
3.6.1	Tela Principal	39
3.6.2	Tela Volumes	39
3.6.3	Tela Flotador de Ar Dissolvido	40
3.6.4	Tela Prensa Lodo	40
3.6.5	Tela Reator Biológico	41
3.6.6	Tela Reator MBR	41

3.6.7	Tela Tanque Pulmão	42
3.6.8	Tela Elevatórias	42
3.6.9	Tela Osmose Reversa	42
3.6.10	Tela Alarmes	43
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
4.1	Avaliação do tempo de desenvolvimento	44
4.2	Análise das melhorias dos blocos LBP	44
4.2.1	Blocos analógicos	44
4.2.2	<i>Faceplates</i> de equipamentos	44
4.3	Análise do Sivarc	45
4.4	Análise geral das telas	45
5	CONCLUSÕES	46
	REFERÊNCIAS	47

1 Introdução

Nos últimos anos, a tecnologia tem desempenhado um papel fundamental na otimização e controle de processos industriais. Os sistemas supervisórios têm se destacado como uma solução eficaz para monitorar, controlar e automatizar diferentes sistemas, desde processos de produção até infraestruturas complexas.

Segundo [Boyer \(2009\)](#) este sistema permite um operador, localizado em uma central, ou sala de controle, controlar e visualizar quaisquer processos (partir motores, abrir e fechar válvulas, monitorar alarmes, adquirir dados de medidores), sejam eles de quaisquer dimensões, complexidades e distâncias à sala de controle.

Ao longo deste trabalho, serão explorados os princípios fundamentais dos sistemas supervisórios, incluindo sua arquitetura, componentes e funcionalidades. Também abordaremos os benefícios e desafios associados à implementação desses sistemas, bem como os critérios de seleção e as melhores práticas para garantir sua eficácia.

Além disso, mostraremos a forma de utilização da ferramenta *SIMATIC Visualization Architect* ([Sivarc](#)) para criação de *faceplates* em uma tela de supervisório, utilizando uma biblioteca para processos no *software Totally Integrated Automation (TIA) Portal v17* da *Siemens*.

1.1 Objetivo geral

Demonstrar o uso da ferramenta [Sivarc](#) para geração automática dos *faceplates* de processos em uma tela do supervisório no *software TIA Portal v17*, para uma estação produtora de água de reuso.

1.1.1 Objetivos específicos

Os objetivos específicos se baseiam nos seguintes tópicos:

- Avaliar o tempo de engenharia no desenvolvimento das telas;
- Aperfeiçoar os blocos de instrumentos analógicos para que possam ser configurados apenas via *software*;
- Adequar *faceplates* de equipamentos às normas [ISA 101](#);
- Desenvolver telas de baixa carga cognitiva e intuitivas.

2 Referencial Teórico

Nesse capítulo serão apresentados os princípios teóricos e técnicos que foram usados na realização desse trabalho.

2.1 Início da Automação

De acordo com [Silveira e Lima \(2003\)](#), não é trivial indicar o nascimento da Automação Industrial, entretanto, etimologicamente, para existir automação industrial partimos da premissa que haja indústria e processos automáticos com autocontrole. Sendo assim, o início da automação se deu no século XVIII a partir da criação da máquina de vapor, que acelerou a produção dos artigos manufaturados, também conhecida como o marco da Primeira Revolução Industrial.

No seguinte século, [Silveira e Lima \(2003\)](#) dizem que houve a troca das fontes de energia, o aperfeiçoamento dos processos de produção, avanços nas indústrias siderúrgicas, principalmente a produção do aço, expansão ferroviária assim como as invenções tecnológicas, como o motor a combustão interna, a invenção do telefone, criação dos dispositivos mecânicos chamados relés, que dominariam as fábricas em pouco tempo. A todos esses fatos e alguns outros conseguintes, foi intitulado a Segunda Revolução Industrial.

No início do século XX, [Silveira e Lima \(2003\)](#) apontam que ainda que a indústria já estivesse estabelecida, os processos de automação ainda eram bem rudimentares no contexto fabril, porém em 1909 Henry Ford teve a grande ideia que revolucionou o pensamento da indústria contemporânea. Ele idealizou a linha de montagem, e provavelmente esse foi o real gatilho para o grande desenvolvimento industrial. A partir daí novos conceitos surgiram, são alguns: produção em massa, pontos de montagem, estoques intermediários etc. E ainda nesse século a *General Motors (GM)*, fábrica fundada por Henry, já possuía máquinas automatizadas por relés, equipamento esse crucial para a evolução da automação industrial.

[Ogata et al. \(2009\)](#) também reafirma que o primeiro trabalho significativo de controle automático foi para o controle de velocidade de uma máquina a vapor, sendo o regulador centrífugo construído por James Watt. Outros trabalhos também se demonstraram importantes quando se trata de controladores automáticos, estudo e desenvolvimento de sistemas de controle, modelagens matemáticas, métodos de controle robustos, controlabilidade e estabilidade de sistemas. Nesse sentido, [Ogata et al. \(2009\)](#) descreve importantes contribuições históricas que fundamentam a evolução dessa área:

Em 1922, Minorsky trabalhou em controladores automáticos para pilotagem de embarcações e demonstrou como a estabilidade poderia ser determinada a partir de equações diferenciais que descrevem o sistema. Em 1932, Nyquist desenvolveu um procedimento relativamente simples para a determinação da estabilidade de sistemas de malha fechada com base na resposta de malha aberta a excitações senoidais estacionárias. Em 1934, Hazen, que introduziu o termo servomecanismos para sistemas de controle de posição, discutiu o projeto de servomecanismos a relé, capazes de acompanhar uma variação de entrada com acurácia. [...] No início da década de 1940, Ziegler e Nichols criaram regras para o ajuste de controladores PID, no chamado método de Ziegler-Nichols. Do final da década de 1940 ao início da de 1950, o método de lugar das raízes, graças a Evans, foi plenamente desenvolvido.

Outros fatores também foram determinantes para a evolução exponencial da Automação Industrial como será visto nos tópicos seguintes.

2.1.1 Relés

Segundo Lima (2018) os relés são dispositivos eletromecânicos utilizados para realizar o acionamento de cargas elétricas a partir de sinais de controle de baixa potência. Seu funcionamento baseia-se em uma bobina que, ao ser energizada, gera um campo magnético capaz de movimentar um contato móvel, permitindo a abertura ou fechamento de circuitos elétricos. Essa tecnologia permite o isolamento entre o circuito de controle e o circuito de potência, contribuindo para a segurança e eficiência do sistema. Na Figura 1 pode-se observar um painel de relés da época.

Em aplicações industriais, os relés desempenham papel fundamental em comandos elétricos, intertravamentos e proteções, sendo largamente utilizados em sistemas simples e robustos. De acordo com Costa (2020), mesmo com o avanço dos *Programmable Logic Controller (PLC)* e de dispositivos eletrônicos mais modernos, os relés eletromecânicos ainda são amplamente empregados devido ao seu baixo custo, confiabilidade e facilidade de manutenção.

Texas Instruments (2024) aponta que os primeiros relés projetados foram os eletromecânicos, porém esse dispositivo tem um limite máximo de comutação devido ao desgaste gerado pelas comutações. Com o avanço da tecnologia uma solução para combater essa lacuna deixada pelos relés eletromecânicos veio com o desenvolvimento dos relés de estado sólido, desconsiderando os contatos metálicos e se baseando apenas em princípios fotoelétricos.

Figura 1 – Diagrama do “*simple test setup with overlay current*” em relés de proteção nos anos 1950.



Fonte: Schossig e Schossig (2022).

2.1.2 Circuito Integrado

Braga (2005) destaca que com o advento do circuito integrado (1960) e do microprocessador (1970), a quantidade de inteligência que pode ser embutida em uma máquina a um custo razoável se tornou enorme. O conceito de circuito integrado propriamente dito apareceu em 1952 com a proposição de G.W.A. Dummer, da Inglaterra que num simpósio em Washington apresentou a ideia de se fabricar em blocos todos os componentes interligados formando um circuito completo, no mesmo material em que os transistores eram fabricados, ou seja, o silício. A Figura 2 apresenta uma linha do tempo que ilustra a evolução cronológica das tecnologias aplicadas à Automação Industrial, apresentadas anteriormente, desde o final do século XIX até o início do século XXI. Inicialmente, observa-se a predominância de sistemas mecânicos, utilizados até meados da década de 1920. Com o avanço da eletrotécnica, os relés passaram

2.1.3 Controle de Processos

“O controle automático aplicado às indústrias de processo é intitulado controle de processos. Controlar um processo é fazer com que suas variáveis interajam de modo ordenado, mantendo-as o mais próximo possível de valores considerados ideais.” (GARCIA, 2005).

No mercado competitivo, as indústrias são obrigadas a aumentar/melhorar continuamente a produtividade das suas plantas industriais. Nesse contexto a automação é um fator determinante para aumentar a rentabilidade dessas unidades. Segundo Campos e Teixeira (2010) vários são os ganhos da aplicação da automação nos processos industriais:

- Aumento do nível de qualidade dos produtos;
- Minimização da necessidade de reprocessamento;
- Aumento da confiabilidade dos sistemas;
- Liberação do operador de uma série de atividades manuais e repetitivas.

Esses sistemas de controle, quando não automatizados, exigem continuamente a atenção e intervenção humana.

Garcia (2005) aponta que como a atuação humana é sujeita a erros ou distrações, tem-se que o controle automático, que continuamente mantém a variável controlada próxima a um valor desejado (*Setpoint*), é a melhor solução para manter os mais rígidos padrões de qualidade. O controle automático de processos industriais alterou a interação do operador com o processo, liberando-o de tarefas sistemáticas, repetitivas, ou seja, ele não deveria dispor de tempo para cuidar do sistema/máquina e sim para cuidar somente do produto.

2.2 Controlador Lógico Programável

Seguindo a linha do fordismo, com a GM produzindo automóveis em larga escala com suas máquinas automatizadas por relés, foram percebidos diversos problemas. A programação das máquinas era extremamente complexa, a instalação de painéis e cabines de controle com centenas de dispositivos mecânicos exigindo grande interconectividade e muita energia, vida útil dos relés etc. Sendo assim em 1968 a *BedFord Association* foi contratada para desenvolver um dispositivo eletrônico que substituísse os relés. Assim foi criado o *MODICON (Modular Digital Controller)*, o primeiro PLC, (SILVEIRA; LIMA, 2003).

Segundo Parede e GOMES (2011), com o surgimento dos circuitos integrados, foi possível viabilizar e difundir a utilização do PLC em grande escala, melhorando o poder de processamento e diminuindo o tamanho dos equipamentos. Esse avanço está atrelado, em grande parte, ao desenvolvimento tecnológico dos computadores, até mesmo em sua arquitetura de *hardware* e *software*. O uso de microprocessadores e microcontroladores de última geração e o de arquitetura híbrida, aliada às novas técnicas de processamento paralelo e às redes de comunicação, contribuíram para o sucesso desse equipamento industrial.

Parede e GOMES (2011) também salientam que esse início do PLC também se encaixa na arquitetura de *Vonn Neumann*, com uma unidade de entrada que fornece instruções e dados ao sistema, uma unidade central de processamento que processa as informações conforme um programa armazenado em uma unidade de memória, armazena as variáveis na unidade de memória e entrega os resultados em uma unidade de saída. Essas entradas e saídas que fazem a conexão com o meio físico, sendo eles, sensores, interruptores, botões, motores, atuadores etc. Na década de 1980, os PLCs já eram utilizados normalmente em sistemas de automação que envolviam lógica e sequenciamento. Surgia, então, a necessidade de

desenvolver novas aplicações para esses equipamentos. O crescimento do mercado fez com que eles começassem a migrar para aplicações como:

- Controle de processo;
- Comunicações entre homens e máquinas;
- Processamento numérico.

Outros fatores para evolução do PLC assim como foram os motivos de sua aceitação no mercado são:

- Facilidade de programação e reprogramação, sendo a lógica *Ladder Diagram (LD)* desenvolvida visando ser de fácil compreensão dos técnicos eletricitistas pois essa lógica se baseia em lógica de relés e tem representação gráfica;
- Possibilidade de manutenção e reparo, com blocos de entrada e saída modulares;
- Confiabilidade e robustez, para que possa ser utilizado em ambiente industrial;
- Redução de tamanho em comparação ao tradicional sistema de relés;
- Ser modular, permitindo a interface com o campo com entradas e saídas, assim como expansões sem grandes alterações no sistema.

Parede e GOMES (2011) ainda apresentam que a primeira linguagem utilizada no PLC foi o *Assembly* e com a evolução das gerações dos PLC surgiram algumas linguagens que facilitariam sua programação, por exemplo: lista de instruções (*Instruction List (IL)*), texto estruturado (*Structured Text (ST)*), diagrama de blocos de função (*Function block diagram (FBD)*), gráfico de função sequencial (*Sequential Function Chart (SFC)*).

2.3 Protocolos

Lugli e Santos (2019) ressaltam que com a evolução da automação também foi crescendo o número de pontos (elementos de entrada e saída). Considerando as primeiras redes industriais com automação centralizada onde um único PLC recebia esses pontos, foram identificados alguns problemas:

- Aumento do painel elétrico;
- Aumento da quantidade de fios e multicabos entrando no painel;
- Erros nas ligações dos fios;
- Distância dos elementos de campo com o PLC, aumentando o comprimento dos cabos, assim como aumento dos ruídos no sinal.

Ainda corroborando com Lugli e Santos (2019) é apresentado que no contexto dos problemas identificados foi realizada a separação das placas de entrada e saída de um PLC, deixando no painel somente a fonte, a *Central Process Unit (CPU)* e uma placa para conversão dos dados. Nascia assim o *FieldBus*. Nas décadas de 80 e 90 houve uma explosão de fabricantes de PLC, dispositivos de entrada e saída, assim como diversas redes industriais e protocolos.

Segundo Altus (2022) os 3 padrões mais relevantes e importantes quando se trata de Automação Industrial são: *Modbus/TCP*, *PROFINET* e *EtherNet/IP*. Todos eles atuam sobre o meio físico *Ethernet*. Felser (2002) apresenta que a *Ethernet* foi desenvolvida para o ambiente de escritório, porém a *Ethernet* industrial trouxe expansões significativas:

- Proteção de investimento ao se conectar com o sistema *FieldBus* existente;
- Uso de componentes de rede em um ambiente industrial;
- Rápido sistema de conexão com o *Registered Jack - 45 (RJ45)*;
- Alta performance de transmissão mesmo com vários nós na rede.

Marshall e Rinaldi (2004) assim definem:

Ethernet industrial é uma aplicação bem sucedida do padrão *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) 802.3* com cabeamento, conectores e *hardware* que encontram ruído elétrico, vibração, temperatura e requisitos de durabilidade de equipamentos fabris, e protocolos de rede que fornecem interoperabilidade e controle crítico de equipamentos inteligentes e máquinas.

Estes autores destacam que a *Ethernet* industrial é uma especializada e rigorosa aplicação da “*Ethernet* de escritório” que traz consigo os seguintes pontos:

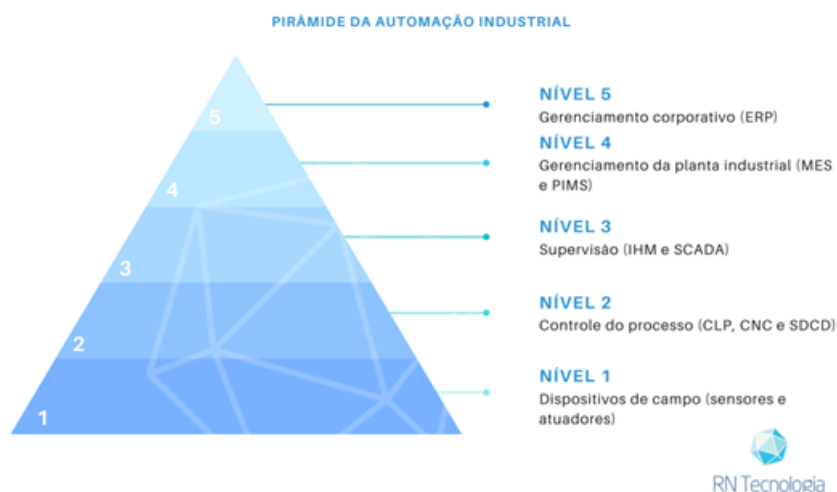
- Missão crítica: um *Downtime* (período em que um sistema, máquina, equipamento ou processo fica temporariamente indisponível ou inoperante) em uma rede industrial é bem mais custosa que uma em um escritório, sendo assim muito menos tolerável e deve ser resolvida de maneira mais rápida possível;
- Ambiente severo: os equipamentos industriais dificilmente são instalados em salas livres das más condições do ambiente fabril. Sendo assim a escolha dos equipamentos, boas práticas de instalação cruciais;
- Ruídos elétricos: a *Ethernet* industrial está inserida em ambientes com tensões de 380 – 440 VAC, motores, cargas indutivas no geral, rádios, ou seja, sofrendo ação eletromagnética a todo momento. Sendo assim, deve ser um cabo com uma boa blindagem como F/UTP, que possui uma fita aluminizada ou o S/FTP com blindagem coletiva de malha metálica e fita aluminizada por par de fios, para que a comunicação da rede seja confiável;
- Vibração: sendo inserida no ambiente industrial, onde há máquinas e processos sabemos que há bastante vibração. Logo, a conexão dos equipamentos de rede deve ser robusta o suficiente para não ceder com contínuas vibrações;
- Segurança: os dados na sua fábrica podem ter segredos de empresa, valores de produção, receitas etc. Precauções devem ser tomadas;
- Dispositivos antigos: sistemas de Automação Industrial consistem em uma combinação heterogênea de dispositivos e equipamentos de diferentes gerações provenientes de diversos fabricantes que apresentam arquiteturas e protocolos incompatíveis entre si;
- Interoperabilidade: dispositivos *Ethernet* têm que comunicar um com o outro, com computadores pessoais, possivelmente com internet, aplicações *Web*;

- Níveis de prioridade: algumas máquinas necessitam de comunicação em tempo real, com respostas determinísticas. Outros dados são menos urgentes. Por isso é importante reconhecer essas diferenças para uma melhor performance de comunicação do sistema;
- Conectividade com outras redes locais: em uma fábrica com centenas/milhares de equipamentos e vários setores fabris, há a necessidade de criação de *Virtual Local Area Network (VLAN)* separadas. Sendo assim há de se fazer uma configuração e escolha de equipamentos de rede bem assertiva para não haver problemas de latência, alto *Requested Packet Interval (RPI)*, *Jitter*, número limitado de conexões etc;
- O departamento de Tecnologia da Informação (TI) vs. Departamento de Automação: *Ethernet* é precisamente o lugar onde duas igualmente válidas, porém conflitantes, visões de “sistema” e “dados” se unem. No momento atual com grande imersão de Inteligência Artificial e nuvem no mercado de automação, grande parte dos equipamentos necessitam de acesso a rede pública. O que confronta diretamente conceitos de cibersegurança extremamente defendidos pelo departamento de TI.

2.4 Hierarquia

De acordo com [Velki \(2025\)](#) e [Lince Brasil \(2025\)](#) a hierarquia de Automação Industrial é representada pela pirâmide da Automação Industrial, um diagrama que demonstra cinco níveis, que constituem desde os equipamentos e dispositivos de campo até o gerenciamento corporativo da empresa. Essa Pirâmide da Automação Industrial, vide [Figura 4](#), serve para explicar e relacionar os pontos e o alcance que a automação atua. Cada nível tem interdependência em relação ao outro, sendo interfaceados pelos protocolos de comunicação, são eles:

Figura 4 – Pirâmide da automação industrial.



Fonte: [RN Tecnologia \(2024\)](#).

- O primeiro nível é a base da pirâmide onde ficam os dispositivos de campo, sejam eles de aquisição de dados e de atuação. Os equipamentos de aquisição de dados compõem os sensores digitais, os analógicos e juntamente com estes os transmissores que convertem os valores medidos para um padrão que comunique com o PLC. Sendo eles: loop de corrente 4-20mA e/ou 0-20mA, variação de tensão 0-10V, *Modbus*, *EtherNet/IP*, *PROFINET* entre outros. Já os equipamentos de atuação, tratam de modificar o processo seguindo comandos advindos da camada de controle de processo. São exemplos: válvulas, bombas, motores, atuadores pneumáticos;

- No nível dois ficam os equipamentos de controle do processo. Estes equipamentos são responsáveis por processar uma lógica previamente definida, baseada nas variáveis de entrada (equipamentos de aquisição de dados) e em valores predefinidos em lógica ou em supervisorio (*Setpoint*) e enviar um comando para que os dispositivos de atuação interfiram no processo. Neste nível os dispositivos realizam grande troca de informações entre si, sendo necessária uma boa infraestrutura de rede e de protocolos para um eficiente desempenho do sistema. São exemplos: PLC, Sistema Digital de Controle Distribuído (SDCD) e Relés;
- O terceiro nível destina-se a supervisão dos processos executados na planta, o *Supervisory Control And Data Acquisition* (SCADA). O objetivo é permitir que o operador seja capaz de monitorar e atuar sobre a malha de controle sem que haja necessidade de atuação em campo. Neste nível também pode haver a integração com banco de dados para armazenar as informações do processo ao longo do tempo, como apresenta Coelho (2010). São exemplos: *softwares* de sistemas de supervisão em computadores, celulares, tablets e Interface Homem Máquina (IHM). Exemplos de fabricantes visto na subseção 2.6.2.
- É no quarto nível que se encontra o *Manufacturing Execution Systems* (MES), sendo o sistema para gerenciamento das atividades de produção. Auxilia tanto no controle de processos quanto na logística de suprimentos. Como exemplos de funcionalidades : ordenar reposição de materiais, analisar desempenho de produção, controlar estatisticamente o processo, apurar custos, melhorar a visibilidade do chão de fábrica;
- No topo da pirâmide, o quinto nível da automação industrial é responsável por toda parte administrativa do processo como a gestão de recursos da empresa. Aqui concentra-se o *Enterprise Resource Planning* (ERP). Nesse ponto são aplicados *softwares* facilitadores de tarefas com ênfase em gestão financeira e *Business Intelligence* (BI) para ajudar na tomada de decisões que atingem toda a empresa. Em um nível de integração ideal, poderiam estar inseridos todos os dados da fábrica, como contabilidade, recursos humanos, manutenção, consumo energético etc.

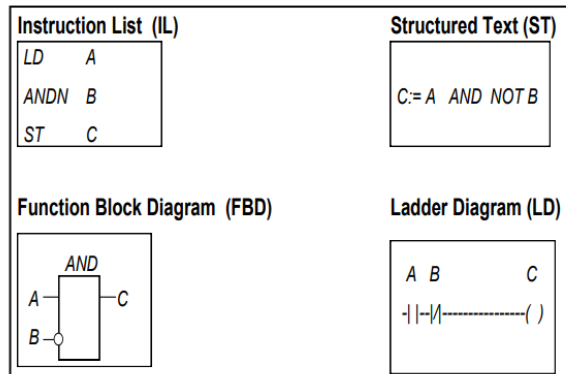
2.5 Linguagem de programação

Está definido na norma *International Electrotechnical Commission* (IEC) 61131-3, que teve sua primeira edição publicada em 1993 e sua última em 2013, que os fabricantes de PLC devem trabalhar com ao menos duas linguagens gráficas – LD e *Function block diagram* (FBD) e duas linguagens textuais, sendo : *Instruction List* (IL) e *Structured Text* (ST), (INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, 2013).

Segundo Roos (2008) o ST é considerada uma linguagem de programação de alto nível, pois é baseada em outra linguagem de programação de alto nível, o Pascal. São suportadas declarações complexas e instruções aninhadas como: declarações condicionais, *loops* de iteração, chamadas de funções, atribuições, emprego de funções trigonométricas, conversão de tipo de dado.

É uma linguagem mais enxuta, que para projetos de grande escala traz um enorme ganho em tempo de engenharia para fazer as declarações de entradas e saídas. Com um simples uso do *software* Excel e Bloco de Notas, é possível fazer a declaração de milhares de variáveis em segundos, o que nas outras linguagem esse processo é um pouco mais complexo, quando possível. A Figura 5 apresenta o formato das quatro linguagens descritas acima para a mesma lógica.

Figura 5 – As 4 linguagens com a mesma lógica de programa.



Fonte: PLCopen (2004).

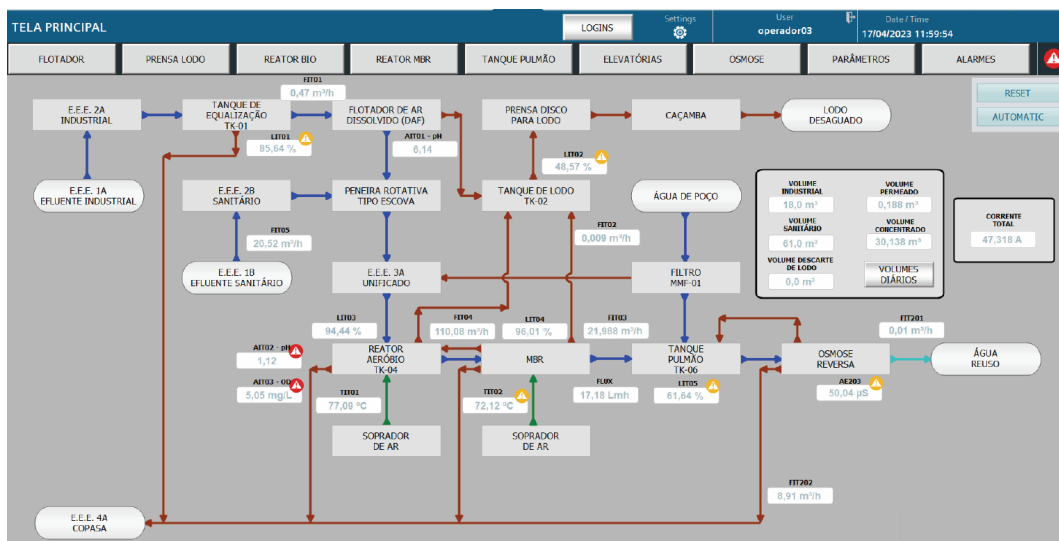
2.6 Supervisory Control And Data Acquisition

Clarke, Reynders e Wright (2004) definem que SCADA trata-se da combinação de telemetria e aquisição de dados. O SCADA está presente em fábricas desde a existência de sistemas de controle. Os primeiros sistemas SCADA utilizavam painéis de medição, luzes e gráficos gerados manualmente para aquisição de dados. O controle e supervisão era exercido pelo operador, que manualmente operava diversos botões de controle. Estes dispositivos eram, e ainda são, utilizados em sistemas de controle em várias plantas, fábricas e usinas geradoras de energia.

2.6.1 Hardware

Em um sistema de aquisição de dados e controle supervisão, a plataforma de operação é um computador/microcomputador que roda um programa aplicativo. Através do monitor o operador pode, através de um teclado e mouse, selecionar diferentes visões do processo, desde uma malha isolada até a visão completa do sistema (overview), vide Figura 6.

Figura 6 – Overview da planta industrial de tratamento de água.



Fonte: Autor.

Clarke, Reynders e Wright (2004) assim definem, um sistema SCADA:

Um sistema SCADA consiste em um número de unidades terminais remotas (RTU) coletando dados de campo e enviando de volta para uma estação *master* via um sistema de comunicação. Esta estação *master* exibe os dados adquiridos e também permite ao operador realizar tarefas de controle remotamente.

Ele também visualiza valores numéricos das variáveis de processo de diferentes maneiras. Os valores podem aparecer ao lado dos equipamentos associados, por exemplo, o nível de um tanque pode ser representado em porcentagem ao lado ou dentro de sua representação, a vazão de uma tubulação pode ter seu valor instantâneo e acumulado, mostrado tanto junto a linha ou em uma tela separada com todas as vazões e volumes do sistema.

Diversas luzes para representação de falhas são eliminadas e agora os alarmes são listados em uma tabela que organiza por ordem cronológica, importância e registra esses alarmes para serem revistos em caso de alguma análise posterior.

Podem ser definidos e observados os *status* de equipamentos, por exemplo, válvulas fechadas em vermelho, posições intermediárias em amarelo e verde em caso de abertas.

2.6.2 Software

Organizar o *layout* das telas, selecionar a operação de uma malha, adicionar entradas de dados, modificar parâmetros, atuar em dispositivos remotos, apresentar uma lista de alarmes não é feita automaticamente, deve ser desenvolvida e programada. Para que isso ocorra, estão disponibilizados no mercado vários programas para que o usuário final realize seu controle, assim como, a elaboração do sistema pelo desenvolvedor. Por exemplo: *FactoryTalk View* (Rockwell Automation), *TIA Portal* (Siemens), *Eclipse E3* (Eclipse Software), *Aveva System Platform* ou *Aveva InTouch* (Aveva). Neste trabalho foi utilizado o *TIA Portal* v17.

2.7 ISA 101

A padronização desempenha um papel fundamental na Automação Industrial, contribuindo para a uniformidade, segurança e eficiência dos processos. Nesse contexto, destaca-se a atuação da *International Society of Automation* (ISA), cujos padrões têm ampla aplicação em diversos setores industriais. Conforme a própria instituição, [International Society of Automation \(2025\)](#), ressalta:

Os padrões ISA ajudam profissionais de automação a otimizar processos e aprimorar a segurança, a cibersegurança e a eficiência em operações em diversos segmentos da indústria. Mais de 150 padrões e diretrizes de consenso refletem o trabalho e o conhecimento de mais de 3.000 especialistas participantes em todo o mundo.

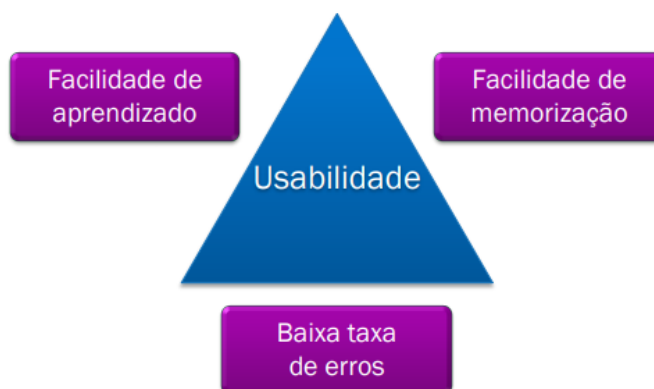
Segundo [ISA São Paulo Section \(2016\)](#) a norma ISA 101 estabelece diretrizes para a IHM em sistemas de supervisão e controle industrial. Essa norma é essencial para o desenvolvimento de Sistemas Supervisórios (SCADA, IHM, Painéis de Controle) que sejam eficientes, intuitivos e seguros.

No contexto deste trabalho, a ISA 101 será abordada como referência para o projeto e avaliação de um sistema supervisório, garantindo usabilidade, vide [Figura 7](#), redução de erros operacionais e conformidade com as melhores práticas da indústria.

Dentre os objetivos da norma estão :

- Padronização de interfaces: define estruturas comuns para telas de supervisório, facilitando a operação e o treinamento.

Figura 7 – Usabilidade.



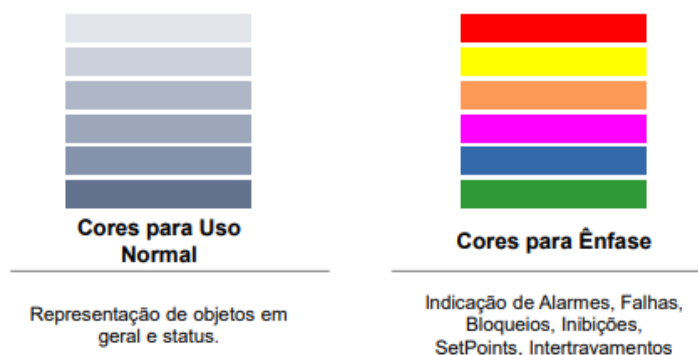
Fonte: ISA São Paulo Section (2016).

- Melhoria na usabilidade: busca reduzir a carga cognitiva do operador, evitando falhas humanas.
- Segurança operacional: estabelece critérios para alarmes, hierarquia de informações e prevenção de ações indevidas.

A norma recomenda que as interfaces incluam:

- Navegação intuitiva: menus e transições entre telas bem definidas;
- Hierarquia de informações: dados críticos (como alarmes) devem ter maior destaque;
- Consistência visual: uso padronizado de cores, vide [Figura 8](#), símbolos e tipografia;
- *Feedback* operacional: confirmação de comandos e indicação clara de estados do processo.

Figura 8 – Cores para objetos.



Fonte: ISA São Paulo Section (2016).

A norma ISA 101, oferece acessibilidade no sentido tradicional (como para pessoas com deficiência) e no sentido não tradicional também. No primeiro caso ela atende pessoas com diferentes graus de

daltonismo com sua paleta de cores amigáveis para daltônicos. Sobre esta condição, [Signorelli Oftalmologia \(2024\)](#) destaca que:

Os portadores do gene anômalo apresentam dificuldade na percepção de determinadas cores primárias, como o verde e o vermelho, o que se repercute na percepção das restantes cores do espectro. Acredita-se que até 8% da população seja portadora deste distúrbio, dentro deste percentual, apenas 1% inclui as mulheres, os 7% restantes incluem o sexo masculino.

Todavia a norma também oferece uma inclusão operacional ao garantir que seus sistemas supervisórios sejam intuitivos e seguros para operadores com diferentes níveis de experiência.

3 Materiais e Métodos

Nesse capítulo serão apresentados os materiais e a metodologia utilizados na execução deste trabalho.

3.1 Ferramentas

Esta seção aborda as ferramentas utilizadas neste trabalho.

3.1.1 TIA Portal v17

[Siemens AG \(2021\)](#) apresenta que o *TIA Portal v17* é uma plataforma para configuração de produtos industriais *Siemens*. Ela engloba os seguintes produtos: *SIMATIC STEP 7*, *SIMATIC STEP 7 Safety*, *SIMATIC WinCC*, *SINAMICS Startdrive*, *SIMOCODE ES*, *Soft Starter ES*.

O *SIMATIC STEP 7* é uma ferramenta para configuração dos controladores das linhas *SIMATIC S7-300 / S7-400 / S7-1200 / S7-1500*.

O *SIMATIC WinCC* é uma ferramenta para configuração dos *IHM* e *SCADA* da Família *Basic*, *Confort*, a *Advanced* e *Professional*.

Sivarc possibilita a criação automática, fácil e simples de criação de conteúdo em *IHM* a partir de programas do *STEP 7*.

3.1.2 Microsoft Excel

Utilizado para visualizar entradas e saídas do *PLC* advindas do projeto elétrico e fórmulas de concatenação para deixar os dados no formato para que sejam importados no *TIA Portal* tanto para declaração de entradas e saídas com suas informações/comentários e declaração de *TAG* que representam sua identificação em relação ao elemento de campo. O *software* também é utilizado para declaração de blocos de lógica no formato de *ST*.

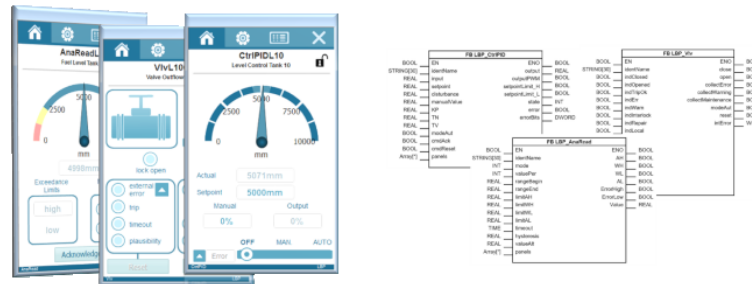
3.2 Library for Basic Processes

[Siemens AG \(2025\)](#) descreve a biblioteca *Library for Basic Processes (LBP)* da *Siemens* como uma coleção de blocos de função padronizados utilizados em sistemas de Automação Industrial, especialmente *PLC* da família *SIMATIC S7*. Essa biblioteca oferece um conjunto de funções pré-programadas e otimizadas que facilitam o desenvolvimento de aplicações de controle, reduzindo o tempo de programação e aumentando a confiabilidade do sistema.

A biblioteca *LBP*, exemplo visto na [Figura 9](#), inclui funções para:

- Controle de motores: partida direta, partida direta com reversão, *soft-starters*, inversores;
- Controle de válvulas: válvulas *On/Off*, válvulas proporcionais, válvulas 3 vias;
- Intertravamentos;
- Monitoramento de sinais : tratamento de entradas digitais e analógicas, sendo elas tanto *feedback* de elementos atuadores ou sinais analíticos do processo;

Figura 9 – Exemplo da biblioteca LBP com blocos para PLC e para SCADA



Fonte: Siemens AG (2024).

- Malhas de controle *Proportional Integral Derivative* (PID): pode ser feito o *auto tune* da malha via supervisório;
- Lógica de temporização e contagem: tempos para ativações de determinados processos, contagem de volume tanto por pulso ou aproximação da média da vazão;
- Comunicação industrial: protocolos como *PROFIBUS* e *PROFINET*;
- Gestão de alarmes e eventos.

No presente trabalho, a biblioteca LBP foi utilizada para implementar a lógica de controle de um sistema de tratamento de água, garantindo:

- Padronização;
- Eficiência: redução de erros de operação e otimização do tempo de desenvolvimento;
- Integração: compatibilidade com hardwares *Siemens*, como os PLC *S7-1200* e *S7-1500*.

3.3 Melhorias na biblioteca LBP

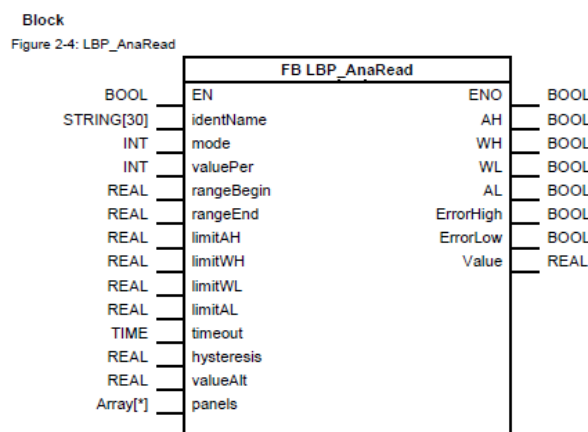
Durante o desenvolvimento do sistema de controle baseado em PLC *Siemens*, foram necessárias adaptações na biblioteca LBP para atender às especificações do projeto e melhorar a eficiência operacional. Este tópico descreve as principais modificações realizadas nos blocos funcionais, justificando suas implementações.

3.3.1 Bloco de Entrada Analógica

Problema identificado:

- O bloco padrão da LBP escalonava os valores analógicos (4-20mA, 0-10V) com a resolução padrão do cartão de entrada analógica e assim só permitia ajuste no próprio instrumento de campo, limitando a flexibilidade de ajustes no PLC, como demonstrado na Figura 10. Os campos *rangeBegin* e *rangeEnd* representam o começo e o fim do *range* de medição. Por exemplo: *rangeBegin*: -20 e *rangeEnd*: 120. Imaginando um instrumento que meça temperatura e com estes valores parametrizados no bloco, 4mA representaria -20 °C e 20mA representaria 120 °C.

Figura 10 – Bloco de leitura de valores analógicos.



Fonte: Autor.

Soluções implementadas:

- Reconfiguração das entradas para permitir o escalonamento diretamente no PLC;
- Adição de parâmetros configuráveis (*range* mínimo e máximo) via interface do bloco.

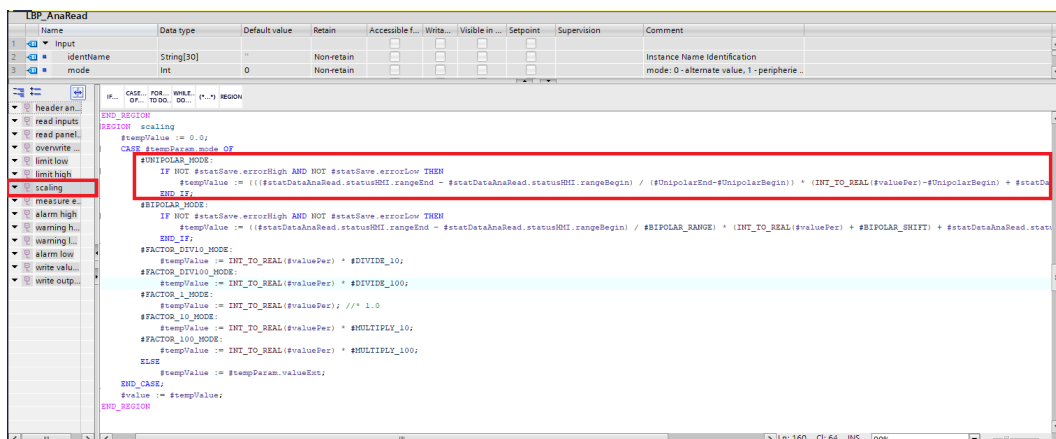
Para esta implementação foi necessária a adição dos parâmetros de entrada ao bloco e suas respectivas declarações de tipo de dado e comentários conforme Figura 11. Para o escalonamento pode-se observar com o destaque em vermelho a Figura 12 os pontos de código que foram adicionados para surtir os efeitos esperados.

Figura 11 – Configuração do bloco de leitura de valores analógicos.

Name	Data type	Default value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...	Setpoint	Supervision	Comment
Input									
1	identName	String[30]	"	Non-retain					Instance Name Identification
2	mode	Int	0	Non-retain					mode: 0 - alternate value, 1 - periph...
3	valuePer	Int	0	Non-retain					At mode > 0: the value of the analog in...
4	rangeBegin	Real	0.0	Non-retain					Mode > 0: the value used for scaling the...
5	rangeEnd	Real	100.0	Non-retain					Mode > 0: the value used for scaling the...
6	limitAH	Real	90.0	Non-retain					Alarm High limit
7	limitWH	Real	80.0	Non-retain					warning High limit
8	limitWL	Real	20.0	Non-retain					Warning low limit
9	limitAL	Real	10.0	Non-retain					Alarm Low limit
10	timeout	Time	T#10S	Non-retain					Parameter monitoring time for "timeout."
11	hysteresis	Real	0.0	Non-retain					Value for the absolute hysteresis: Limit v...
12	valueAlt	Real	0.0	Non-retain					If mode = 0, this value is used as measur...
13	UnipolaEnd	Int	0	Non-retain					Valor máximo do AI
14	UnipolaBegin	Int	0	Non-retain					Valor Mínimo do AI
15	Output								
16	AH	Bool	false	Non-retain					alarm high
17	WH	Bool	false	Non-ret...					warning high
18	WL	Bool	false	Non-retain					warning low
19	AL	Bool	false	Non-retain					Alarm low
20	errorHigh	Bool	false	Non-retain					Measured value error: Overrun
21	errorLow	Bool	false	Non-retain					Measured value error: Undercutting/wire...
22	value	Real	0.0	Non-retain					At mode > 0: the scaled measured value.
23	InOut								
24	panels	Array[*] of "LBP_ty...							panels
25	Static								
26	statDataAnaRead	"LBP_typeAnaRead..."	Non-retain		✓	✓	✓	✓	Data AnaRead
27	instFbLog15	"LBP_Log15"	Non-retain					✓	Library DC: function block for coded log ...
28	statSave	"LBP_typeAnaRead..."	Non-retain					✓	Alarms

Fonte: Autor.

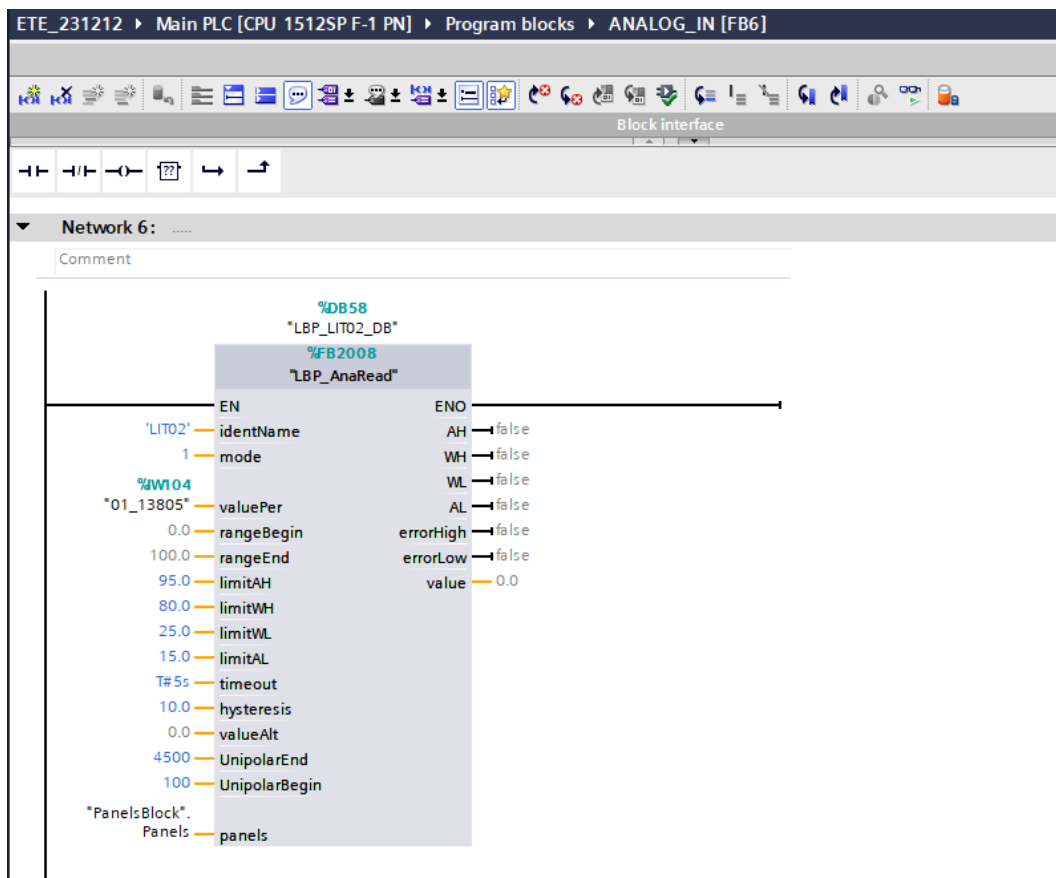
Figura 12 – Código interno do bloco de leitura de valores analógicos.



Fonte: Autor.

Na Figura 13 pode-se observar a adição dos parâmetros de entrada *UnipolarBegin* e *UnipolarEnd*. No caso dos PLC Siemens, as entradas analógicas, em forma de corrente, são convertidas em valores digitais com uma determinada resolução. Essa resolução corresponde a um valor inteiro (do tipo INT) e, para a faixa de 4 a 20 mA, atinge o valor máximo de 27648. Sendo assim quando a entrada analógica recebe um valor de corrente de 4 mA a variável referente a esta entrada possui o valor de 0 e quando submetido a uma corrente de 20 mA a mesma possui um valor de 27648, tendo assim uma resolução de 1728 valores por mA.

Figura 13 – Bloco de leitura de valores analógicos alterado.



Fonte: Autor.

Por exemplo, um sensor de nível, que para escaloná-lo deve esvaziar o tanque, fazer a leitura do valor analógico e parametrizar no bloco como range mínimo. Então enche-se o tanque até seu limite para fazer a leitura do valor analógico que representa o 100% do nível. Esse procedimento de parametrizar no bloco pelo *software* de configuração do PLC não se estenderia por mais que 30 s. O que em condição anterior, o procedimento seria : estar em campo a frente do instrumento, navegar por normalmente botões pequenos e *displays* de visualização limitada, encontrar o correto parâmetro, alterar o valor da escala caractere por caractere. Este processo normalmente pode se estender por 2 min a 10 min dependendo do conhecimento do instrumentista em relação ao modelo. Sendo assim, em uma planta com diversos modelos de instrumentos haveria uma maior curva de aprendizado de manipulação de todos instrumentos. No caso dessa alteração ser feita em *software*, não é de importância o modelo do instrumento assim como o grau de dificuldade de sua navegação por configurações.

Usando [Figura 13](#) como exemplo, os parâmetros de entrada do bloco são:

- *rangeBegin*: 0.0 ;
- *rangeEnd*: 100.0 ;
- *UnipolarBegin*: 100 ;
- *UnipolarEnd*: 4500 ;

No presente sistema, o bloco em questão está associado a um sensor de nível, cuja medição é transmitida ao PLC por meio de sinal analógico. Durante a calibração e testes, foi observado que o nível mínimo do tanque (0%) transmite uma corrente de aproximadamente 4,0578 mA que resulta em um valor digital de 100 no PLC. Por outro lado, o nível máximo do tanque (100%) transmite uma corrente de 6,6036 mA que corresponde a uma leitura de 4500 em valor digital. Esses valores foram utilizados como referência para o escalonamento linear da variável medida, permitindo a correta interpretação do nível percentual do reservatório pelo sistema supervisório.

3.3.2 Bloco de Controle de Motores

Problema identificado:

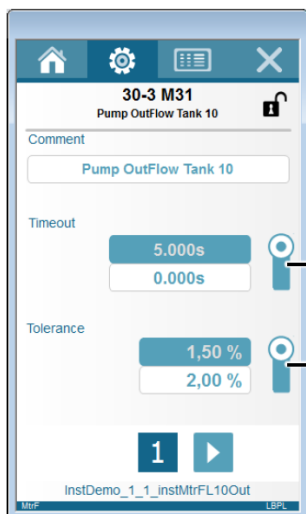
- A versão original visto na [Figura 14a](#) não exibia informações críticas como corrente nominal e corrente atual, exigindo acesso ao inversor em campo para visualizar estes valores em seu *display* frontal.

Solução Implementada:

- Inclusão de variáveis monitoradas na *popup* do motor, alteração observada na [Figura 14b](#):
 - Corrente nominal (lida via comunicação *PROFINET*);
 - Corrente atual (lida via comunicação *PROFINET*);
 - Qualquer outro parâmetro do inversor poderia ser incorporado à *popup*.

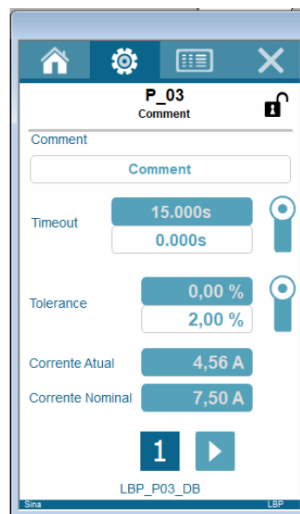
Figura 14 – *Popups* de motor com inversor de frequência.

(a) Versão original.



Fonte: Autor.

(b) Versão alterada.



Fonte: Autor.

3.3.3 Faceplates dos elementos de controle

Problema identificado:

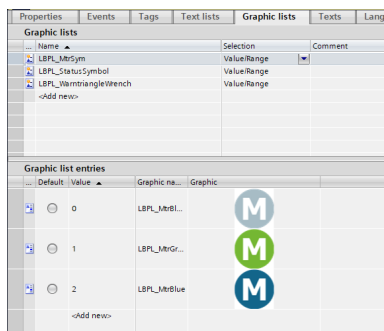
- A versão original da LBP, Figura 15a, não estava com as cores indicadas pela norma ISA 101;

Solução Implementada:

- Foram desenvolvidas as imagens para representação dos equipamentos em cores mais neutras, apenas com mudança de tonalidade para indicação de ligado ou desligado. As imagens foram desenvolvidas em formato *Scalable Vector Graphics (SVG)* para manter a resolução da representação para qualquer tamanho de tela ou monitor. Na Figura 15b observa-se de cima para baixo os *faceplates* de sem estado, ligado e desligado respectivamente.

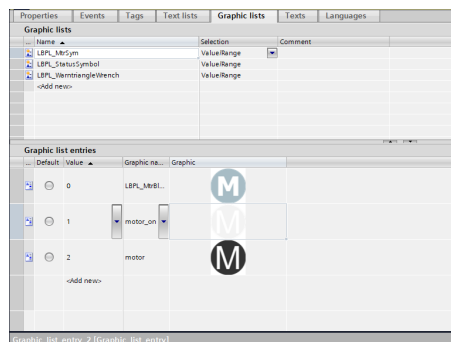
Figura 15 – Versões da LBP para os estados do motor.

(a) Versão original.



Fonte: Autor.

(b) Versão alterada.



Fonte: Autor.

"O formato de arquivo SVG é uma ferramenta popular para exibir gráficos bidimensionais, tabelas e ilustrações em *sites*. Além disso, como um arquivo vetorial, ele pode ser aumentado ou reduzido sem perder resolução." (Adobe Inc., 2025).

3.4 Desenvolvimento das telas

Antes da implementação dos elementos dinâmicos (motores, válvulas, instrumentos), foi necessário criar os objetos estáticos da planta industrial no sistema **SCADA**, seguindo fielmente o *Piping and Instrumentation Diagram (P&ID)*. Essa abordagem garante uma representação visual precisa da infraestrutura física, incluindo:

- Tanques: armazenamento, reatores, decantadores;
- Tubulações: linhas de processo, vazões, conexões;
- Estruturas fixas: suportes, trocadores de calor, filtros.

3.4.1 Metodologia de criação dos objetos estáticos

Esta seção apresenta os métodos e etapas na criação dos elementos estáticos do sistema.

3.4.1.1 Base de Referência: P&ID

A metodologia adotada para a criação dos objetos estáticos no projeto teve como ponto de partida o **P&ID**, amplamente utilizados na Engenharia de Controle e Automação como representação gráfica dos sistemas de processo.

Esses diagramas constituem a principal fonte de informação para a modelagem dos elementos gráficos do **SCADA**, uma vez que contêm detalhes essenciais sobre os componentes do processo industrial, tais como válvulas, instrumentos, tubulações, tanques, bombas e trocadores de calor, bem como suas interconexões lógicas e funcionais.

Para garantir a padronização e a coerência na representação dos elementos, foram adotados símbolos normalizados para a representação gráfica do **P&ID**. Esta padronização permite não apenas a legibilidade dos diagramas, mas também a interoperabilidade entre diferentes plataformas e profissionais da área.

A partir do **P&ID**, foi realizado o mapeamento das interconexões entre os equipamentos, respeitando a disposição real das linhas de processo. O *layout* das tubulações e dos tanques foi construído de forma a representar fielmente o fluxo do processo físico existente na planta industrial, assegurando a correspondência entre o sistema gráfico desenvolvido no supervisor e o ambiente operacional real. Essa correspondência é fundamental para garantir a integridade das informações apresentadas ao operador e a eficácia da tomada de decisão em tempo real.

Além disso, foram consideradas as características dimensionais e funcionais de cada componente para que a disposição gráfica transmitisse, de maneira clara e objetiva, o comportamento esperado do processo durante a operação normal e em situações de alarme ou falha.

3.4.1.2 Etapas

- Criação de *templates* para tanques (formatos cilíndricos, cônicos) e tubulações para que fossem criados apenas uma vez e posteriormente serem somente implementados e não redeseñados.
- Adição de rótulos dinâmicos: nomes de equipamentos (ex: TK-101) vinculados ao **P&ID** e à base de dados do **PLC**.
- Hierarquia visual: elementos estáticos em camadas inferiores, permitindo sobreposição de objetos dinâmicos posteriormente.

3.4.1.3 Resultado

A Figura 16 apresenta a tela desenvolvida no sistema supervisor que foi elaborada com base nas informações contidas em duas páginas específicas do P&ID da planta. Essas páginas foram selecionadas por representarem uma área crítica do processo, reunindo os principais equipamentos, instrumentos e linhas de processo necessárias para a operação e o monitoramento.

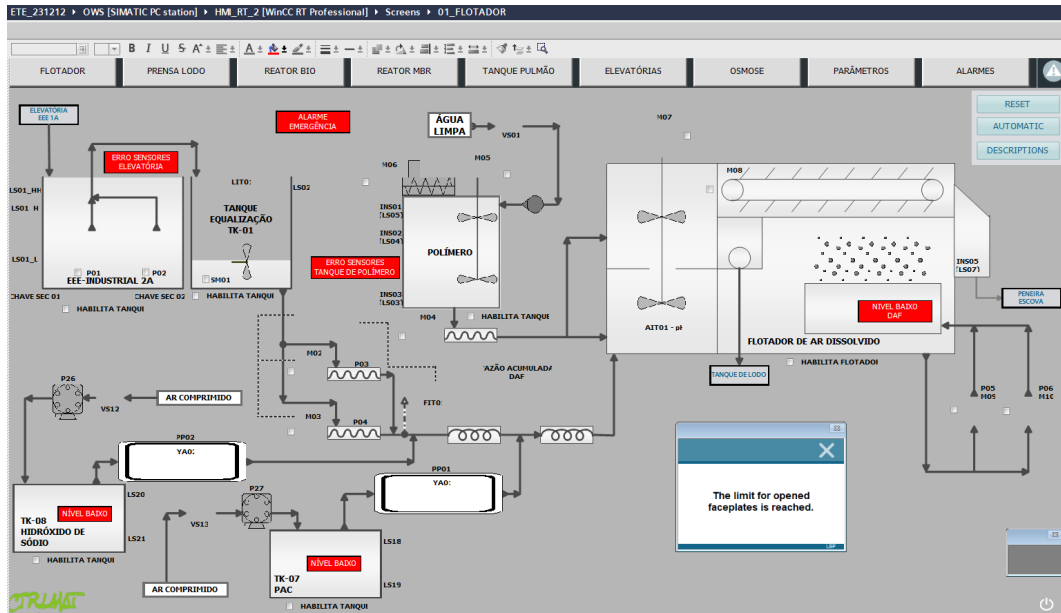
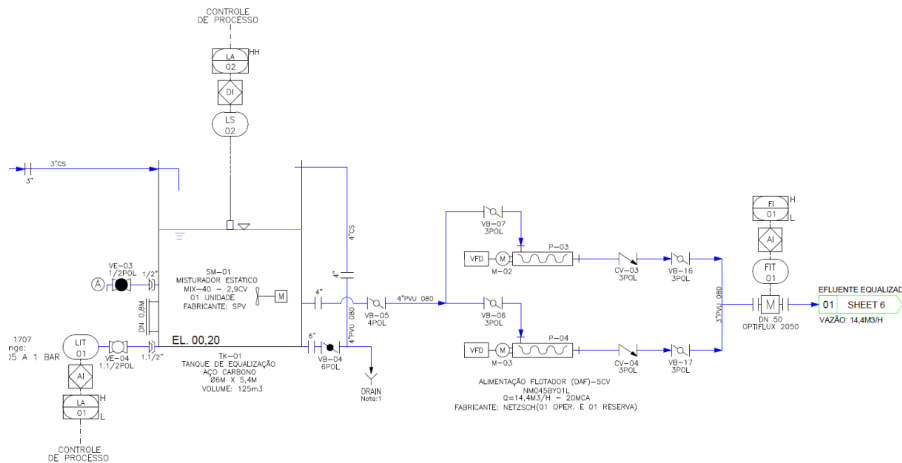


Figura 16 – Tela do supervisor referente ao recebimento de efluente industrial e o FAD.

Fonte: Autor.

A Figura 17 representa a parte do processo onde é recebido apenas o efluente industrial em que há um tanque que mantém o efluente em movimento a todo momento tanto para que não haja decantação assim como para equalização do efluente, facilitando assim os processos seguintes. Em se tratando de equipamentos há um misturador estático (SM-01), um sensor de pressão no fundo do tanque (LIT-01), para que seja monitorado o nível através da altura de coluna d’água), um sensor boia de nível máximo (LS-02) para impedir transbordo do tanque em caso de falha ou má leitura do sensor analógico.

Figura 17 – P&ID referente ao tanque de recebimento de efluente industrial.



Fonte: Autor.

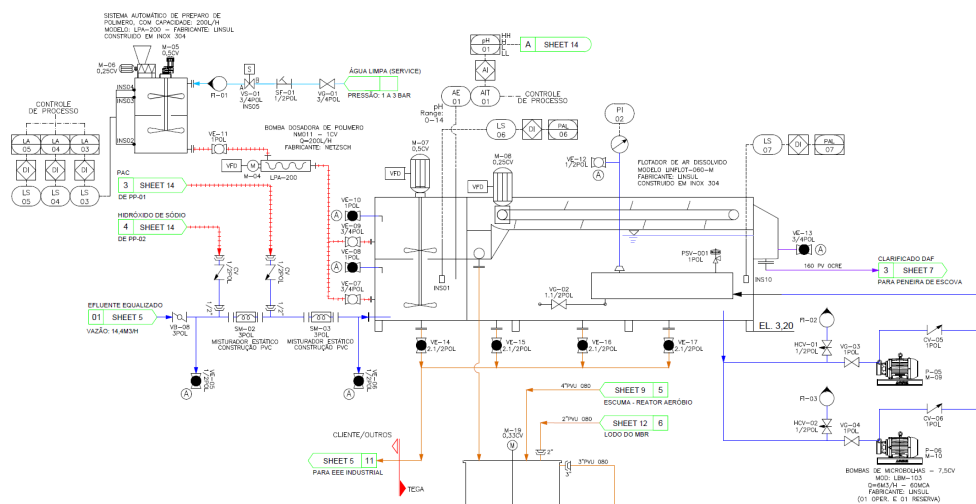
Na saída do tanque existem duas bombas helicoidais (M-02 e M-03, ao contrário da centrífuga, bem implementada quando se é necessário altas vazões, consegue trabalhar com maior torque devido a presença de materiais sólidos e efluente mais denso) que trabalham em redundância. Em caso de falha, manutenção ou troca do equipamento a operação se mantém. Neste caso também é implementada uma lógica para operação alternada das bombas de modo que não fiquem sem funcionamento por um longo prazo, o que acarretaria no travamento da mesma. Além disto, esta alternância garante a linearidade no desgaste das bombas.

Mais a frente há um sensor de vazão (FIT-01) para que haja um controle PID com estas bombas mantendo uma vazão constante escolhida via *setpoint* no supervisório.

A Figura 18 apresenta o *layout* do Flotador de Ar Dissolvido (FAD). Processo em que é adicionado polímero ao efluente vindo do tanque de equalização para que haja aglutinação das partículas sólidas. Nesta máquina ocorre o processo inverso da decantação, onde há bombas de microbolhas(M-09 e M-10) para que as partículas sólidas aglutinadas possam flotar e serem recolhidas pelo raspador que se move na superfície do efluente, removendo e enviando estas partículas ao Prensa Lodo.

Existem bóias de nível (LS-03, LS-04 e LS-05) no tanque de polímero tanto para proteção da bomba atuar a seco, quanto para transbordo e também para preparo da receita de diluição do polímero e água. Há duas bombas para geração de microbolhas também trabalhando em redundância, misturador (M-07), válvulas (VS-01) para adição de água, motor para movimentação do sistema que remove as partículas flutuantes (M-08). Neste processo também existe um sensor de Potencial Hidrogeniônico (pH) (AIT-01) para correção do mesmo. Bombas peristálticas (não observadas na Figura 18) fazem a correção automática do pH através da adição de produtos químicos através de um PID não tradicional devido a natureza do processo. A distância física dos reservatórios de químicos e a resposta lenta do sensor exigem uma abordagem diferente para seu controle.

Figura 18 – P&ID referente ao FAD.



Fonte: Autor.

No sistema supervisório desenvolvido, foram aplicados os seguintes princípios da ISA 101:

- Cores padronizadas: Vermelho para alarmes críticos, cores neutras para condições normais;
- Navegação por hierarquia: Telas de "Visão Geral" → "Detalhes do Processo" → "Faceplate do equipamento", → "Popups dos equipamentos".

- Gestão de alarmes: Filtros por prioridade e confirmação obrigatória para evitar negligências, [Figura 19](#).

Figura 19 – Lista de alarmes da planta.

DATA	HORA	ALARME	CLASSE	USUARIO	EQUIPAMENTO
17/04/23	12:03:14.921	On	LBP_Status		P_14
17/04/23	12:03:12.921	Closed	LBP_Status		V505
17/04/23	12:03:11.921	Opened	LBP_Status		VB29
17/04/23	12:03:11.921	Opened	LBP_Status		VB37
17/04/23	12:03:11.921	Open By Automatic Command	LBP_Status		VB37
17/04/23	12:03:10.921	Open By Automatic Command	LBP_Status		VB29
17/04/23	12:02:40.921	Closed	LBP_Status		VB36
17/04/23	12:02:40.921	Closed	LBP_Status		VB30
17/04/23	12:02:39.920	On	LBP_Status		M_04
17/04/23	12:02:39.920	On	LBP_Status		M_08
17/04/23	12:02:39.920	On	LBP_Status		M_07
17/04/23	12:02:39.920	On	LBP_Status		P06
17/04/23	12:02:38.921	On	LBP_Status		M05
17/04/23	12:02:38.921	On By Automatic Command	LBP_Status		M05
17/04/23	12:02:38.921	On	LBP_Status		P_04
17/04/23	12:02:38.920	On By Automatic Command	LBP_Status		P06
17/04/23	12:02:32.921	On	LBP_Status		P01
17/04/23	12:02:31.921	On By Automatic Command	LBP_Status		P01
17/04/23	11:59:34.919	Limit Max Reached	LBP_Alarm		QD TANQUE BIO
17/04/23	11:54:56.934	On By Automatic Command	LBP_Status		P20
17/04/23	11:54:56.934	On	LBP_Status		P20
17/04/23	11:54:32.917	On	LBP_Status		M_01
17/04/23	11:54:29.944	On	LBP_Status		P10
17/04/23	11:54:28.918	On By Automatic Command	LBP_Status		P10
17/04/23	11:52:56.918	Closed	LBP_Status		V503
17/04/23	11:52:56.918	Off	LBP_Status		M15
17/04/23	11:46:46.914	Off	LBP_Status		P_15
17/04/23	11:44:41.915	Limit Max Reached	LBP_Alarm		QD TANQUE BIO
17/04/23	11:44:41.915	On	LBP_Status		P23
17/04/23	11:44:41.915	On By Automatic Command	LBP_Status		P23
17/04/23	11:40:17.912	On By Automatic Command	LBP_Status		P22
17/04/23	11:40:17.912	On	LBP_Status		P22
17/04/23	11:32:57.908	Off	LBP_Status		P02
17/04/23	11:19:43.902	Closed	LBP_Status		V501
17/04/23	11:19:43.902	Off	LBP_Status		M06
17/04/23	11:19:29.902	On	LBP_Status		P25
17/04/23	11:19:28.902	On By Automatic Command	LBP_Status		P25

Fonte: Autor.

3.5 Sivarc - Geração dos elementos dinâmicos

Esta seção detalha as etapas da geração dos elementos dinâmicos com o uso da ferramenta [Sivarc](#).

3.5.1 Preparação

Após o mapeamento completo de todas as entradas e saídas (E/S) do PLC, inicia-se a etapa de declaração dos blocos de lógica da biblioteca [LBP](#) para suas respectivas funcionalidades. Essa declaração pode ser realizada em [LD](#) ou em [ST](#), conforme as normas da [IEC 61131-3](#). Como demonstrado na [seção 2.5](#), a utilização do [ST](#) oferece maior agilidade e flexibilidade durante a declaração desses blocos, especialmente em aplicações com maior quantidade de entradas e saídas.

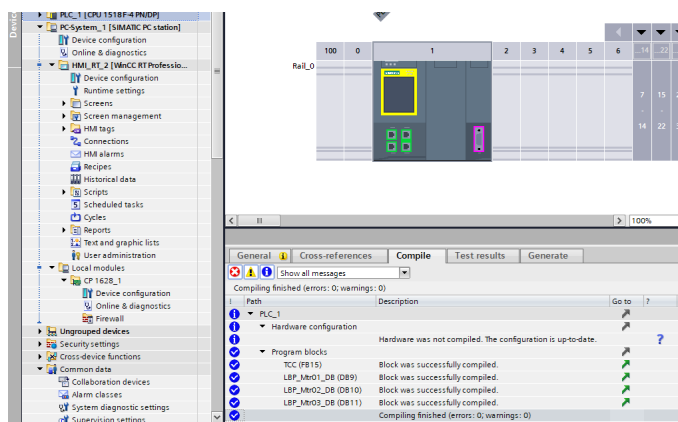
É considerado uma boa prática de programação separar as declarações dos blocos em rotinas distintas, organizadas por tipo de equipamento ou função. Essa abordagem contribui significativamente para a clareza e a manutenção do projeto, além de facilitar sua expansão futura. Da mesma forma, a inclusão de comentários explicativos em todas as rotinas é altamente recomendada, pois auxilia na compreensão do código, tanto por parte de outros profissionais quanto pelo próprio autor, em eventuais revisões ou atualizações posteriores.

3.5.2 Lista de regras

Após a correta declaração e a respectiva compilação do código do PLC, visto em [Figura 20](#), procede-se à lista de regras do [Sivarc](#), vide [Figura 21](#). Essa lista de regras automatiza a associação entre os tipos de equipamentos e os respectivos *faceplates* que serão gerados na interface de supervisão, eliminando a necessidade de adicioná-los individualmente. Aqui também são definidos as telas destino dos elementos, que neste caso é a tela denominada "DemoSymbols2". Neste caso, foram geradas somente regras para

criação de motores, tendo como *Rule trigger* o bloco de lógica de motor ("LBP_Mtr") e seu objeto de tela correspondente, o "LBP_SymMtr".

Figura 20 – Compilação bem sucedida dos blocos de lógica.



Fonte: Autor.

Figura 21 – Lista de regras do SIVarc.

Name	Rule trigger	Screen object	Master copy/Screen type	Layout field	Condition	Comment
LBP_Mtr	LBP_Mtr	LBP_SymMtr	DemoSymbols2			

Fonte: Autor.

A geração é realizada por categoria de equipamento, o que confere maior eficiência ao processo. Exemplos de categorias estão listadas na seção 3.2. Para vias de demonstração nesta seção, foi gerado somente o elemento motor de partida direta.

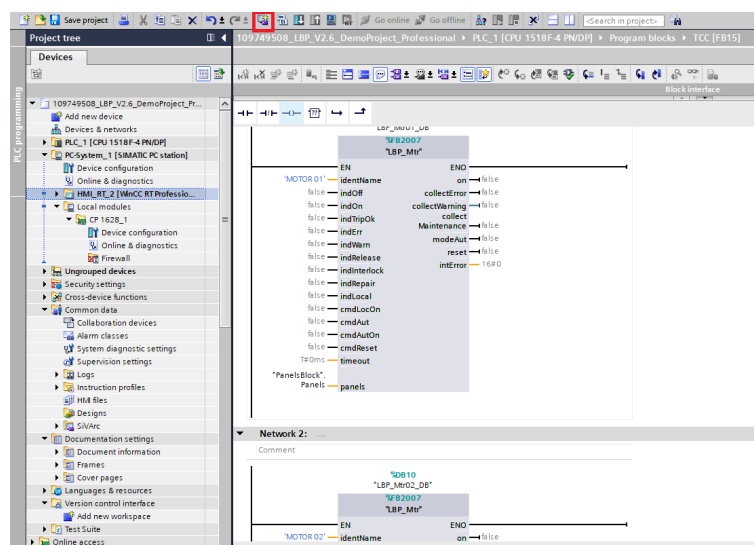
Automaticamente são identificados os blocos definidos na lista de regras, Figura 22, e neste ponto é necessário apenas pressionar o botão do SIVarc indicado em vermelho na Figura 23.

Figura 22 – Matriz de geração de *faceplates*.

Call structure	Screen rule	Name of the screen object	HMI devices	Demosymbols2
MOTORS_MOTORS_DB	Screen rule	symLEP_MMS_DB	For all	X
LBP_Abr.LBP_MMS_DB	Screen rule	symLEP_MMS_DB	For all	X
LBP_Abr.LBP_M14_DB	Screen rule	symLEP_M14_DB	For all	X
LBP_Abr.LBP_M15_DB	Screen rule	symLEP_M15_DB	For all	X
LBP_Abr.LBP_M19_DB	Screen rule	symLEP_M19_DB	For all	X
LBP_Abr.LBP_P01_DB	Screen rule	symLEP_P01_DB	For all	X
LBP_Abr.LBP_P02_DB	Screen rule	symLEP_P02_DB	For all	X
LBP_Abr.LBP_P05_DB	Screen rule	symLEP_P05_DB	For all	X
LBP_Abr.LBP_P09_DB	Screen rule	symLEP_P09_DB	For all	X
LBP_Abr.LBP_P10_DB	Screen rule	symLEP_P10_DB	For all	X
LBP_Abr.LBP_P11_DB	Screen rule	symLEP_P11_DB	For all	X
LBP_Abr.LBP_P12_DB	Screen rule	symLEP_P12_DB	For all	X
LBP_Abr.LBP_P13_DB	Screen rule	symLEP_P13_DB	For all	X
LBP_Abr.LBP_P18_DB	Screen rule	symLEP_P18_DB	For all	X
LBP_Abr.LBP_P19_DB	Screen rule	symLEP_P19_DB	For all	X
LBP_Abr.LBP_P20_DB	Screen rule	symLEP_P20_DB	For all	X
LBP_Abr.LBP_P21_DB	Screen rule	symLEP_P21_DB	For all	X
LBP_Abr.LBP_P22_DB	Screen rule	symLEP_P22_DB	For all	X
LBP_Abr.LBP_P23_DB	Screen rule	symLEP_P23_DB	For all	X
LBP_Abr.LBP_P24_DB	Screen rule	symLEP_P24_DB	For all	X
LBP_Abr.LBP_P25_DB	Screen rule	symLEP_P25_DB	For all	X
LBP_Abr.LBP_S01_DB	Screen rule	symLEP_S01_DB	For all	X
LBP_Abr.LBP_S02_DB	Screen rule	symLEP_S02_DB	For all	X
LBP_Abr.LBP_S03_DB	Screen rule	symLEP_S03_DB	For all	X
LBP_Abr.LBP_S04_DB	Screen rule	symLEP_S04_DB	For all	X
LBP_Abr.LBP_SM01_DB	Screen rule	symLEP_SM01_DB	For all	X
LBP_Abr.LBP_VL_S01_DB	Screen rule	symLEP_VL_S01_DB	For all	X
LBP_Abr.LBP_VL_S02_DB	Screen rule	symLEP_VL_S02_DB	For all	X
LBP_Abr.LBP_VL_S03_DB	Screen rule	symLEP_VL_S03_DB	For all	X
LBP_Abr.LBP_VL_S04_DB	Screen rule	symLEP_VL_S04_DB	For all	X
TCC_TCC_DB	Screen rule	symLEP_M01_DB	For all	X
LBP_Abr.LBP_M01_DB	Screen rule	symLEP_M01_DB	For all	X
LBP_Abr.LBP_M02_DB	Screen rule	symLEP_M02_DB	For all	X
LBP_Abr.LBP_M03_DB	Screen rule	symLEP_M03_DB	For all	X

Fonte: Autor.

Figura 23 – Botão do Sivarc.



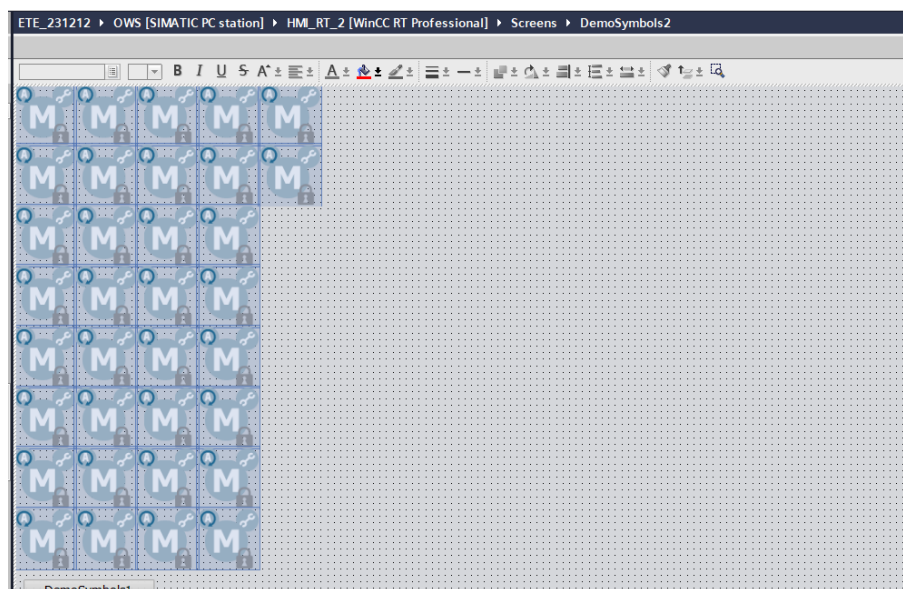
Fonte: Autor.

3.5.3 Disposição dos elementos

Na Figura 24 estão dispostos todos *faceplates* referentes a todos motores de partida direta declarados no PLC.

Neste ponto é necessário apenas realocar os elementos em suas respectivas posições definidas no P&ID.

Figura 24 – Tela dos *faceplates* gerados pelo Sivarc.



Fonte: Autor.

3.6 Sistema de Controle e Supervisão finalizado

Para facilitar o entendimento do funcionamento e das operações do sistema, a estação foi dividida em telas de acordo com o posicionamento de cada setor para que o supervisório ficasse o mais fiel possível a planta, assim como a função/característica específica de cada equipamento foi levada em conta

para seu posicionamento na tela. O **SCADA** foi dividido nas seguintes telas, que serão melhor descritas posteriormente:

- Principal;
- Volumes;
- Flotador de Ar Dissolvido;
- Prensa Lodo;
- Reator Biológico;
- Reator MBR;
- Tanque Pulmão;
- Elevatórias;
- Osmose Reversa;
- Alarmes.

3.6.1 Tela Principal

Na tela principal, apresentada na [Figura 6](#), é possível visualizar todo o fluxograma da planta, assim como suas principais informações de níveis, vazões e outros parâmetros. É composto por botões que permitem acesso direto à respectiva tela. Na parte superior há o botão "LOGINS" para acesso a tela de "LOGIN" para controle e alterações de usuários e senhas.

3.6.2 Tela Volumes

A [Figura 25](#) apresenta a tela de volumes e é acessada através da tela principal pelo botão "VOLUMES DIÁRIOS". Nela estão os valores de volumes diários de domingo a sábado, assim como os volumes totais acumulados.

Figura 25 – Tela de volumes.

VOLUMES DIÁRIOS					
	INDUSTRIAL	SANITÁRIO	DESCARTE DE LODO	CONCENTRADO	PERMEADO
DOMINGO	117,0	84,0	1,0	141,40	35,55
SEGUNDA	165,0	163,0	1,0	157,76	0,33
TERÇA	132,0	194,0	1,0	189,92	0,33
QUARTA	125,0	188,0	1,0	209,98	0,28
QUINTA	117,0	192,0	0,0	159,51	0,39
SEXTA	143,0	187,0	1,0	201,98	0,33
SABADO	111,0	166,0	1,0	149,09	35,04

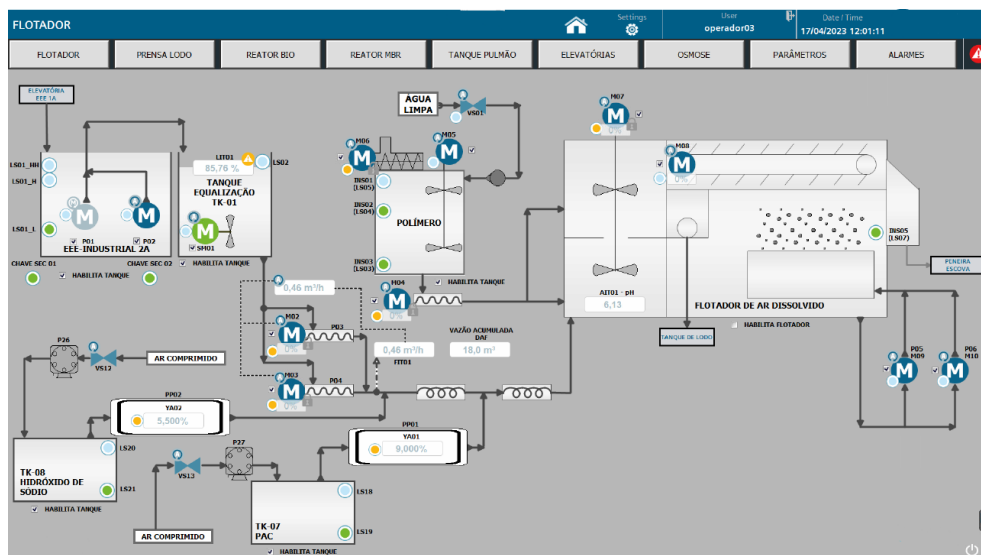
VOLUMES ACUMULADOS	
INDUSTRIAL	13145
SANITÁRIO	7011
DESCARTE DE LODO	111
CONCENTRADO	14940
PERMEADO	3900

Fonte: Autor.

3.6.3 Tela Flotador de Ar Dissolvido

Na Figura 26 é observada tela de FAD cujo processo tem a função de permitir a entrada de efluente industrial advindo do tanque de equalização para remoção do volume de sólidos. O princípio deste processo é misturar microbolhas de ar na água a fim de se unir com as partículas de sólidos e devido a densidade ser menor, as partículas emergem para a superfície da água. O clarificado do FAD segue para a peneira rotativa, já o lodo flutuante segue por gravidade para o tanque de lodo disposto na Figura 27.

Figura 26 – Tela do FAD.

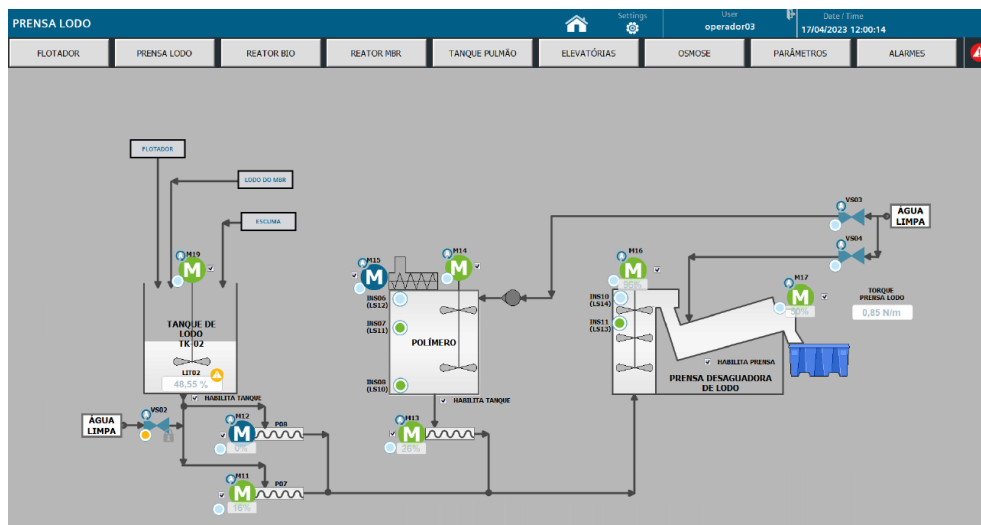


Fonte: Autor.

3.6.4 Tela Prensa Lodo

A Figura 27 exibe a tela onde ocorre a operação de desaguamento que consiste na remoção de líquidos livres do lodo e produz material sólido denominado como torta, com umidade em torno de 60% à 80%, ou inversamente 40% à 20% de sólidos secos. Neste equipamento o desaguamento ocorre através dos multi discos fixos e móveis, com variação nos espaçamentos no decorrer do equipamento. Um sistema de caracol central com passos graduados, proporciona alta pressão, para descarga do lodo mais seco.

Figura 27 – Tela do prensa lodo.

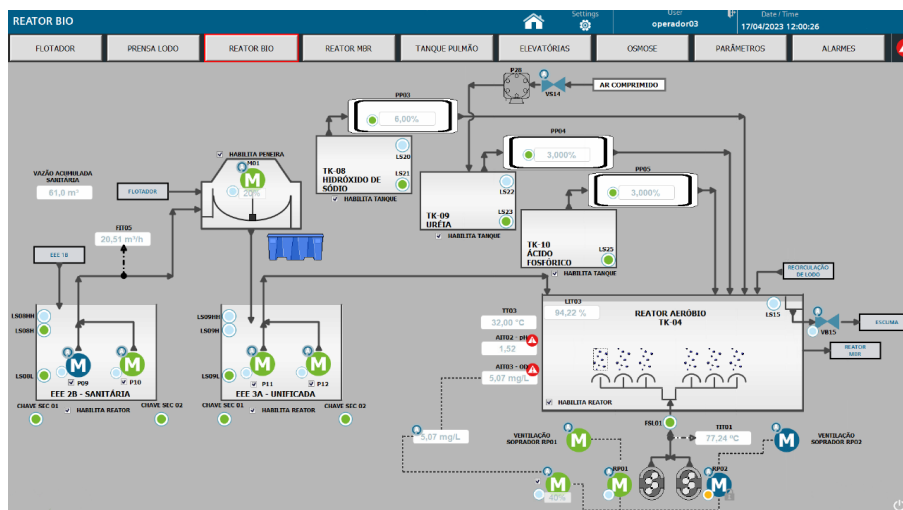


Fonte: Autor.

3.6.5 Tela Reator Biológico

É possível visualizar na [Figura 28](#) a representação do reator biológico no qual o processo de tratamento consiste basicamente na remoção da matéria orgânica dissolvida no efluente por microorganismos aeróbios mantidos sob agitação. Neste caso como será utilizado um *Membrane Bioreactor (MBR)* como processo de separação entre a biomassa e o efluente tratado é permitido adotar concentração de sólidos no reator biológico na ordem de 10 g/L. O oxigênio necessário para degradação aeróbia será fornecida através de sopradores.

Figura 28 – Tela do reator biológico.



Fonte: Autor.

3.6.6 Tela Reator MBR

A [Figura 29](#) exibe um tanque, denominado tanque de membranas, instalado após o reator biológico onde está o **MBR** que contém o módulo de membranas ultrafiltração de fibra oca. Neste tanque também é realizada a aeração para agitação dos sólidos em suspensão e limpeza das membranas. Acoplado a este tanque há um *skid* de filtração composto por bombas, válvulas, instrumentos analíticos e outros itens para realização da sucção do permeado, neste *skid* também foi considerado bomba de recirculação de lodo *Return Activated Sludge (RAS)* fazendo o retorno do lodo para o reator biológico.

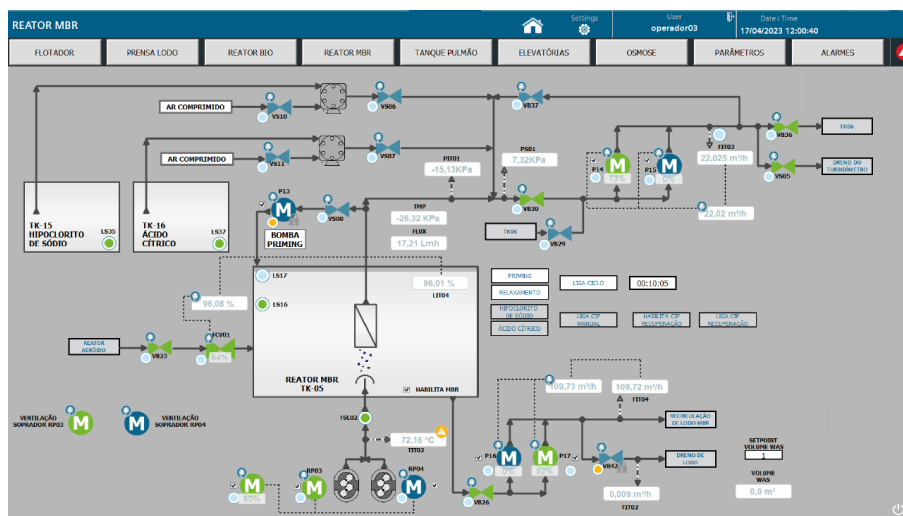


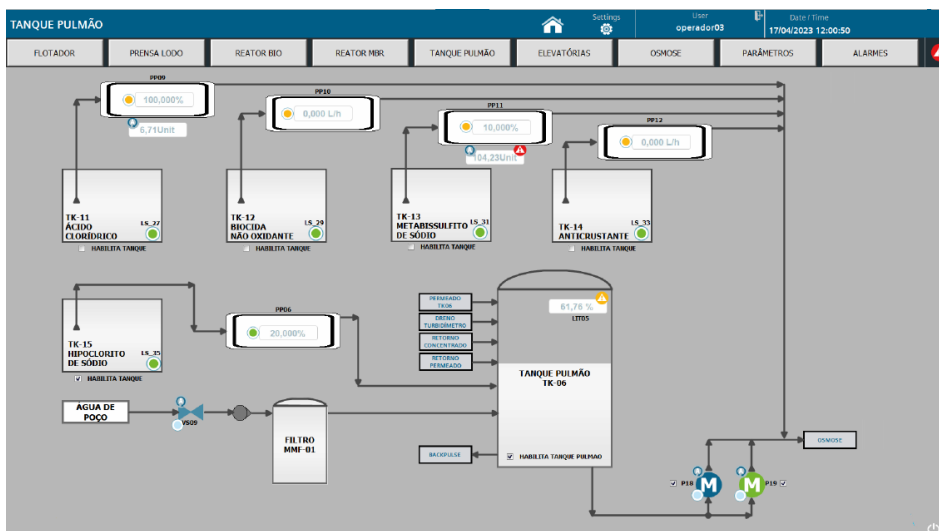
Figura 29 – Tela do reator **MBR**.

Fonte: Autor.

3.6.7 Tela Tanque Pulmão

A Figura 30 apresenta a tela onde se encontra o tanque pulmão, que recebe a água permeada pelo MBR e armazena para ser usada na osmose reversa. Também se encontram os tanques de químicos da osmose.

Figura 30 – Tela do tanque pulmão.

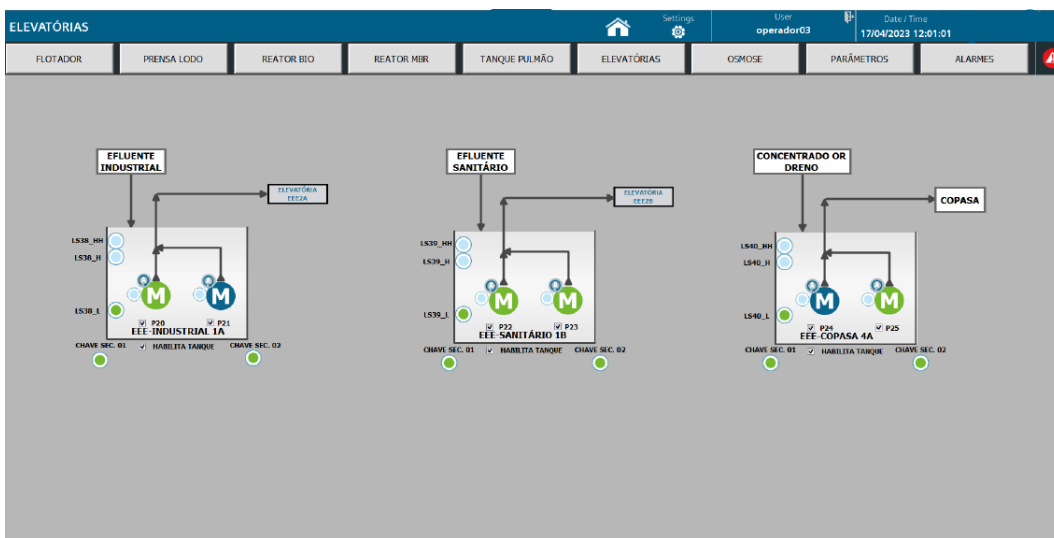


Fonte: Autor.

3.6.8 Tela Elevatórias

Na Figura 31 pode-se observar a tela das estações elevatórias que estão localizadas externamente a estação de tratamento.

Figura 31 – Tela das elevatórias.



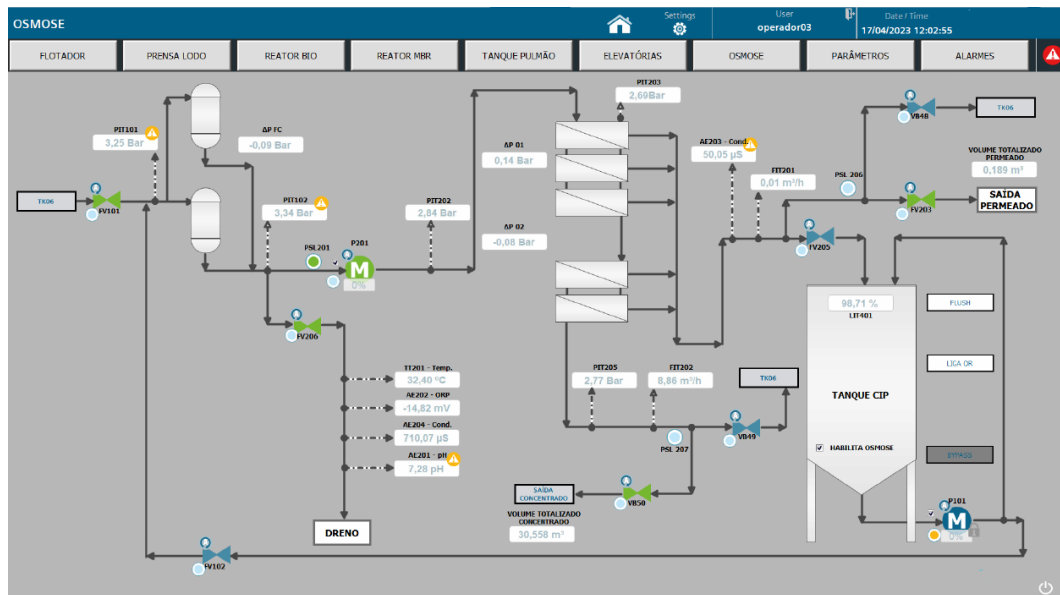
Fonte: Autor.

3.6.9 Tela Osmose Reversa

A Figura 32 contempla a osmose reversa que é um tipo especial de filtração que utiliza membranas com poros suficientemente pequenos que permitem passar água pura e rejeitar moléculas maiores, tais

como sais dissolvidos e outras impurezas. Dessa forma como produto tem-se a água de permeado a qual será reutilizada. Sendo o rejeito desse processo descartado para a rede da concessionária.

Figura 32 – Tela da osmose reversa.



Fonte: Autor.

3.6.10 Tela Alarmes

Na Figura 19 encontra-se a tela onde pode-se fazer a verificação dos últimos alarmes ocorridos na planta. Muito útil e necessário para rastreamento de falhas no sistema.

4 Resultados e Discussão

Neste capítulo, abordam-se os resultados e análises constatados durante o desenvolvimento deste trabalho.

4.1 Avaliação do tempo de desenvolvimento

A adoção da linguagem **ST**, uma das linguagens preconizadas pela norma **IEC 61131-3**, proporcionou significativa otimização no tempo de engenharia durante a declaração dos blocos de lógica da biblioteca **LBP**. Ao utilizar ferramentas de apoio como Microsoft Excel para geração automatizada das variáveis, foi possível realizar a declaração de centenas de variáveis em poucos minutos. Esse ganho de tempo confirma a vantagem já descrita por **Roos (2008)**, que destaca o **ST** como uma linguagem de alto nível mais eficiente para aplicações de maior escala, especialmente em projetos que exigem flexibilidade e replicabilidade.

O uso de rotinas separadas por tipo de equipamento, combinado com comentários explicativos, contribuiu diretamente para a organização e manutenção do código. Isso está em consonância com boas práticas de desenvolvimento de *software* em Automação Industrial e também com os princípios de legibilidade e reutilização de código defendidos por **Parede e GOMES (2011)**.

4.2 Análise das melhorias dos blocos LBP

Esta seção abrange os resultados obtidos no aprimoramento de alguns blocos da biblioteca **LBP**.

4.2.1 Blocos analógicos

Um dos principais avanços obtidos no projeto foi a modificação dos blocos de leitura analógica da biblioteca **LBP**, permitindo o escalonamento diretamente via *software*, sem necessidade de configuração no instrumento de campo. Esta alteração eliminou a dependência de manipulação manual de instrumentos (com interfaces físicas limitadas), reduzindo drasticamente o tempo e a complexidade do comissionamento em campo.

Conforme descrito na **subseção 3.3.1**, a parametrização dos blocos no **PLC** passou a ser realizada em aproximadamente 30 segundos por ponto, frente aos 2 a 10 minutos estimados no método convencional. Essa melhoria reforça a proposta de aumento da eficiência no tempo de engenharia e manutenção, destacada anteriormente.

4.2.2 Faceplates de equipamentos

A implementação de *faceplates* respeitando os princípios estabelecidos pela norma **ISA 101**, teve impacto direto na usabilidade da interface do sistema supervisor. A padronização do uso de cores, bem como a adoção de ícones vetoriais, **SVG**, resultaria em maior clareza visual e menor carga cognitiva para os operadores - um dos objetivos-chave da norma.

Aqui pode ser destacado o resultado final das telas na **seção 3.6**, onde se observa algumas válvulas e motores com estado ligado em verde e desligado em azul, seguindo o padrão original da biblioteca. Isto se deve ao fato de que apesar da indicação da norma ao cliente final deste projeto, foi por escolha dos

mesmos manterem um padrão com o resto da fábrica que já tinha por entendimento uma cor verde para equipamentos em funcionamento e vermelho/cor neutra para fora de operação.

4.3 Análise do Sivarc

A utilização do **Sivarc** para a geração automatizada de *faceplates* representou um dos maiores ganhos do projeto. Após a correta compilação dos blocos de lógica, criação dos vínculos na lista de regras dos tipos de equipamento aos seus respectivos elementos gráficos, eliminando a necessidade de inserção manual e individual.

Esse procedimento, além de reduzir o tempo de desenvolvimento, assegura padronização na interface, evitando inconsistências visuais e funcionais entre os diversos dispositivos da planta. A categorização de equipamentos por tipo permitiu que a geração fosse realizada de forma organizada, garantindo a rápida percepção de algum elemento faltando, já que seu espaço nas telas já estavam predefinidos ao seguir o **P&ID**.

4.4 Análise geral das telas

Não se tratando de elementos dinâmicos, pôde-se observar ainda sim uma neutralidade em relação aos objetos estáticos, em que não há objetos em 3 dimensões, sem cores com muita variação na escala *Red Blue Green (RGB)*, sem muito preenchimento de objetos em apenas uma tela.

A navegação hierárquica, que parte de uma visão geral da planta até chegar ao nível de *popups* individuais dos equipamentos, segue exatamente as recomendações da **ISA 101** para sistemas **SCADA**, promovendo segurança operacional e rápida tomada de decisão.

A divisão do supervisório em telas específicas por setores da estação de tratamento de água proporcionou uma visualização clara e alinhada com o fluxo do processo. O uso do **P&ID** como base para construção das telas garantiu a fidelidade visual entre o ambiente gráfico e a planta real, conforme orientado pelas boas práticas de engenharia de controle.

Os elementos dinâmicos implementados, como bombas, válvulas e sensores, operam conforme esperado, com interações seguras, *feedbacks* visuais consistentes e alarmes configurados com lógica de prioridade. Tais elementos foram testados em cenários de operação normal e de falha, comprovando a robustez e a confiabilidade da solução desenvolvida.

5 Conclusões

O desenvolvimento do sistema supervisório proposto neste trabalho teve como foco principal a otimização do tempo de engenharia, a padronização da interface operacional e o uso eficiente de recursos técnicos disponibilizados pelas ferramentas **LBP** e **Sivarc**. Os resultados obtidos demonstraram que a integração dessas ferramentas contribuiu para a automação de processos do desenvolvimento destes sistemas para médio e grande porte, como as estações de tratamento de água para reúso. Vale ressaltar que mesmo inicialmente adequando todos faceplates de equipamentos a norma, isso iria de encontro com a padronização vigente na fábrica. E por isso as representações voltaram as suas cores originais.

Dessa forma, todos os objetivos específicos estabelecidos neste trabalho foram atingidos, validando a metodologia proposta e reforçando a importância da aplicação de normas e ferramentas estruturadas no desenvolvimento de sistemas supervisórios industriais.

Referências

- Adobe Inc. *Arquivos SVG: como criá-los, editá-los e abri-los*. 2025. Acesso em: 14 maio 2025. Disponível em: <<https://www.adobe.com/br/creativecloud/file-types/image/vector/svg-file.html>>. Citado na página 32.
- Altus. *Conhecendo os protocolos Modbus TCP, Ethernet/IP e Profinet*. 2022. Acesso em: 22 jun. 2025. Disponível em: <<https://www.altus.com.br/post/411/conhecendo-os-protocolos-modbus-tcp-2c-ethernet-2fip-e-profinet/>>. Citado na página 20.
- BOYER, S. A. *Scada: Supervisory Control And Data Acquisition*. 4th. ed. Research Triangle Park, NC, USA: International Society of Automation, 2009. ISBN 1936007096. Citado na página 14.
- BRAGA, N. C. *Eletrônica básica para mecatrônica*. [S.l.]: Saber São Paulo, 2005. Citado na página 16.
- CAMPOS, M. C. M. M. de; TEIXEIRA, H. C. G. *Controles típicos de equipamentos e processos industriais*. [S.l.]: Editora Blucher, 2010. Citado na página 18.
- CLARKE, G.; REYNDERS, D.; WRIGHT, E. *Practical modern SCADA protocols: DNP3, 60870.5 and related systems*. [S.l.]: Newnes, 2004. Citado na página 23.
- COELHO, M. S. *Apostila – Sistema Supervisório*. 2010. <https://professorcesarcosta.com.br/upload/imagens_upload/Apostila_Sistema_Supervisorio.pdf>. Acesso em: 24 maio 2025. Citado na página 22.
- COSTA, A. *Automação Industrial: Fundamentos e Aplicações*. Rio de Janeiro: Editora Nova Engenharia, 2020. Citado na página 16.
- FELSER, M. The fieldbus standards: History and structures. *Technology Leadership Day*, p. 12, 2002. Citado na página 20.
- GARCIA, C. *Modelagem e simulação de processos industriais e de sistemas eletromecânicos Vol. 1*. [S.l.]: Edusp, 2005. Citado na página 18.
- Instituto Newton C. Braga. *A Lei de Moore (ART1177)*. 2025. <<https://www.newtonbraga.com.br/projetos/8084-a-lei-de-moore-art1177.html>>. Acesso em: 4 jun. 2025. Citado na página 17.
- INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. *IEC 61131-3: Programmable Controllers – Part 3: Programming Languages*. 2013. 3rd ed. Geneva: IEC. Citado na página 22.
- International Society of Automation. *ISA Standards and Publications*. 2025. Acesso em: 14 maio 2025. Disponível em: <<https://www.isa.org/standards-and-publications/isa-standards>>. Citado na página 24.
- ISA São Paulo Section. *ISA-101: Interfaces Homem-Máquina – Apresentação no III Simpósio ISA São Paulo Sabesp*. 2016. Acesso em: 14 maio 2025. Disponível em: <<https://isasp.org.br/wp-content/uploads/2020/01/ISA-101-III-Simp%C3%B3sio-ISA-S%C3%A3o-Paulo-Sabesp-Nov2016.pdf>>. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 25.
- LIMA, J. P. *Elementos de Comando e Proteção Elétrica*. São Paulo: Editora Técnica Industrial, 2018. Citado na página 16.
- Lince Brasil. *Pirâmide da Automação Industrial*. 2025. Acesso em: 14 maio 2025. Disponível em: <<https://lincebrasil.com/piramide-da-automacao-industrial/>>. Citado na página 21.
- LUGLI, A. B.; SANTOS, M. M. D. *Redes industriais para automação industrial-As-I, Profibus e Profinet*. [S.l.]: Saraiva Educação SA, 2019. Citado na página 19.
- MARSHALL, P. S.; RINALDI, J. S. *Industrial Ethernet*. [S.l.]: ISA, 2004. Citado na página 20.
- MOORE, G. E. Cramming more components onto integrated circuits. *Electronics*, v. 38, n. 8, p. 1–4, 1965. Acesso em: 4 jun. 2025. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/7164970>>. Citado na página 17.

- OGATA, K. et al. *Modern control engineering*. [S.l.]: Prentice Hall India, 2009. Citado na página 15.
- PAREDE, I. M.; GOMES, L. E. L. *Eletrônica: automação industrial*. São Paulo: Fundação Padre Anchieta, v. 6, 2011. Citado 3 vezes nas páginas 18, 19 e 44.
- PLCopen. *Introduction on IEC 61131-3 (versão portuguesa)*. 2004. Disponível em: <https://plcopen.org/sites/default/files/downloads/intro_iec_march04_portuguese.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2025. Citado na página 23.
- RN Tecnologia. *Pirâmide da automação industrial*. 2024. Artigo online: RN Tecnologia. Disponível em: <<https://rntecnologia.com.br/en/piramide-da-automacao-industrial/>>. Acesso em: 16 jun. 2025. Citado na página 21.
- ROOS, N. Programming plcs using structured text. *Proc. Int. Multiconf. Comput. Sci. Inf. Technol*, Citeseer, p. 20–22, 2008. Citado 2 vezes nas páginas 22 e 44.
- SCHOSSIG, W.; SCHOSSIG, T. *Testing Technology in the 1950s (Part 2)*. 2022. Artigo online no site PAC World. Disponível em: <<https://www.pacw.org/testing-technology-in-the-1950s-part-2>>. Acesso em: 16 jun. 2025. Citado na página 16.
- Siemens AG. *TIA Portal V17 – Visão geral, links e inovações*. 2021. Acesso em: 14 maio 2025. Disponível em: <https://cache.industry.siemens.com/dl/files/553/109798553/att_1069977/v3/TIA_V17_Resumo.pdf>. Citado na página 27.
- Siemens AG. *Library for Basic Processes (LBP) V2.8 – Implementation*. 2024. Manual técnico online. Disponível em: <<https://support.industry.siemens.com/cs/document/109749508>>. Acesso em: 16 jun. 2025. Citado na página 28.
- Siemens AG. *Documentação oficial da Biblioteca LBP*. 2025. Acesso em: 14 maio 2025. Disponível em: <<https://support.industry.siemens.com>>. Citado na página 27.
- Signorelli Oftalmologia. *Como funciona a visão dos daltônicos? Faça um teste*. 2024. Acesso em: 14 maio 2025. Disponível em: <<https://signorellioftalmologia.com.br/como-funciona-a-visao-dos-daltonicos/>>. Citado na página 26.
- SILVEIRA, L.; LIMA, W. Q. Um breve histórico conceitual da automação industrial e redes para automação industrial. *Redes para Automação Industrial*. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, p. 16, 2003. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 18.
- Texas Instruments. *Using Load Switches to Reduce Inrush Currents*. 2024. Acessado em: 13 maio 2025. Disponível em: <<https://www.ti.com/lit/an/slva8/slva8.pdf>>. Citado na página 16.
- Velki. *Quais os cinco níveis de sensor da automação industrial*. 2025. Acesso em: 14 maio 2025. Disponível em: <<https://velki.com.br/pt/blog/novidades/quais-os-cinco-niveis-de-sensor-da-automacao-industrial/>>. Citado na página 21.