



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Ygor de Azevedo Fonseca

**Estudo e implementação de interfaces homem-máquina (IHMs)
industriais embasadas em normas reconhecidas**

Florianópolis

2025

Ygor de Azevedo Fonseca

**Estudo e implementação de interfaces homem-máquina (IHMs)
industriais embasadas em normas reconhecidas**

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Eng. Comp. Adelson Alves Júnior.

Florianópolis

2025

FONSECA, YGOR DE AZEVEDO

Estudo e implementação de interfaces homem-máquina (IHMs) industriais embasadas em normas reconhecidas. / YGOR DE AZEVEDO FONSECA ; orientador, ADELSON ALVES JÚNIOR, 2025.

56 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em Engenharia Elétrica, Florianópolis, 2025.

Inclui referências.

1. Engenharia Elétrica. 2. Interface Homem-Máquina. 3. Design de Alta Performance. 4. Usabilidade. 5. Usina hidroelétrica. I. JÚNIOR, ADELSON ALVES. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Elétrica. III. Título.

Ygor de Azevedo Fonseca

**Estudo e implementação de interfaces homem-máquina (IHMs)
industriais embasadas em normas reconhecidas**

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Bacharel em Engenharia Elétrica” e aceito, em sua forma final, pelo Curso de Graduação em Engenharia Elétrica.

Florianópolis, 02 de setembro de 2025.

Prof. Roberto Francisco Coelho, Dr
Coordenador do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

Banca Examinadora:

Eng. Comp. Adelson Alves Júnior
Orientador
REIVAX AUTOMAÇÃO E CONTROLE LTDA

Prof. Eduardo Augusto Bezerra, PhD
Universidade Federal de Santa Catarina

Eng. Contr. Autom. Henrique Augusto Menarin
REIVAX AUTOMAÇÃO E CONTROLE LTDA

Este trabalho é dedicado aos meus amigos de trabalho e à minha família.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família pelo apoio dado em toda minha vida.

Agradeço a REIVAX, principalmente ao Adelson e ao Henrique Menarin, que permitiram que meu TCC fosse realizado em conjunto com um produto da empresa, tornando a aplicação do meu conhecimento aprendido na universidade e na empresa em algo prático que será utilizado na vida real e em uma área tão importante para a sociedade.

Agradeço ao Caio do P&D da REIVAX que me auxiliou muito com o código de programação do novo editor gráfico, o que me permitiu alterar as telas que estão presentes nesse trabalho.

Agradeço aos meus professores da UFSC todos os conhecimentos que foram passados a mim durante o curso.

RESUMO

Com a crescente complexidade dos sistemas de automação industrial, a Interface Homem-Máquina (IHM) consolida-se como um elemento central para a segurança e a eficiência operacional em plantas de alta criticidade. Este trabalho apresenta o estudo e o desenvolvimento de um protótipo de IHM de alta performance, com foco na sua aplicação em usinas de geração de energia hidroelétrica. Para tal, o estudo aplica uma metodologia de projeto fundamentada nas diretrizes da norma ANSI/ISA-101.01 e nos princípios de design consolidados na literatura técnica especializada. A pesquisa explora profundamente os conceitos de hierarquia de telas, psicologia das cores, ergonomia cognitiva e usabilidade, contrapondo os paradigmas de design modernos com as práticas tradicionais, que frequentemente resultam em sobrecarga de informação e perda de consciência situacional. Ao final, o protótipo desenvolvido demonstra como a aplicação sistemática de um guia de estilo e de princípios de fatores humanos resulta em uma interface que otimiza a tomada de decisão, reduz a carga cognitiva e melhora a capacidade do operador de identificar e responder a condições anormais do processo de forma proativa.

Palavras-chave: Interface Homem-Máquina. ISA-101. Usabilidade. Design de Alta Performance. Consciência Situacional.

ABSTRACT

With the increasing complexity of industrial automation systems, the Human-Machine Interface (HMI) is established as a central element for safety and operational efficiency in high-critically plants. This work presents the study and development of a high-performance HMI prototype, focusing on its application in power generation plants. To this end, the study applies a design methodology based on the guidelines of the ANSI/ISA-101.01 standard and on design principles consolidated in specialized technical literature. The research deeply explores the concepts of display hierarchy, color psychology, cognitive ergonomics, and usability, contrasting modern design paradigms with traditional practices, which often result in information overload and loss of situation awareness. In the end, the developed prototype demonstrates how the systematic application of a style guide and human factors principles results in an interface that optimizes decision-making, reduces cognitive load, and improves the operator's ability to proactively identify and respond to abnormal process conditions.

Keywords: Human-Machine Interface. HMI. ISA-101. Situation Awareness. Software Ergonomics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Tela de operação da unidade geradora com unidade em velocidade nominal.....	37
Figura 2 – Tela de operação da unidade geradora com TRIP atuado.....	38
Figura 3 – Tela da curva de capacidade da unidade geradora em carga.	39
Figura 4 – Tela de falhas com uma falha leve (alarme) atuado.	40
Figura 5 – Tela de falhas com uma falha crítica (TRIP) atuado.	40
Figura 6 – Tela de eventos com alarmes e TRIPs atuados.....	41
Figura 7 – Tela de parametrização de variáveis de controle de potência e velocidade da unidade geradora.....	42
Figura 8 – Tela de parametrização de variáveis de controle da válvula distribuidora e do atuador (distribuidor) da turbina.....	42
Figura 9 – Tela de parametrização das características nominais da unidade geradora.	43
Figura 10 – Tela de parametrização dos transformadores de potencial (TP) e de corrente (TC) da unidade geradora.....	43
Figura 11 – Tela de parametrização dos medidores de frequência (TPs) e rotação (sensores indutivos ‘pick-ups’) da unidade geradora.	44
Figura 12 – Tela de parametrização das medições analógicas de nível montante e jusante da unidade geradora.	44
Figura 13 – Tela de parametrização das medições analógicas do distribuidor e suas válvulas.....	45
Figura 14 – Tela de parametrização das referências de velocidade, potência, abertura e parada rápida da unidade geradora.	45
Figura 15 – Comparativo da tela de operação: A) protótipo desenvolvido, B) interface atual	46
Figura 16 – Comparativo da tela de capacidade: A) protótipo desenvolvido, B) interface atual	47
Figura 17 – Comparativo da tela de eventos com falhas leves e críticas: A) protótipo desenvolvido, B) interface atual	48
Figura 18 – Comparativo da tela de falhas: A) protótipo desenvolvido, B) interface atual	48

Figura 19 – Comparativo da tela de ensaio do distribuidor: A) protótipo desenvolvido, B) interface atual	49
Figura 20 – Comparativo da tela de ensaio de potência e velocidade: A) protótipo desenvolvido, B) interface atual	49
Figura 21 – Comparativo da tela de parametrização dos dados nominais: A) protótipo desenvolvido, B) interface atual	50
Figura 22 – Comparativo da tela de parametrização dos TPs e TCs: A) protótipo desenvolvido, B) interface atual	50
Figura 23 – Comparativo da tela de parametrização dos medidores de frequência: A) protótipo desenvolvido, B) interface atual	51
Figura 24 – Comparativo da tela de parametrização dos medidores de nível: A) protótipo desenvolvido, B) interface atual	51
Figura 25 – Comparativo da tela de parametrização dos medidores do distribuidor: A) protótipo desenvolvido, B) interface atual	52
Figura 26 – Comparativo da tela de parametrização das referências do regulador: A) protótipo desenvolvido, B) interface atual	52

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Especificações técnicas do notebook utilizado.....	32
Quadro 2 – Paleta de cores.	34

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- ANSI – American National Standards Institute (Instituto Nacional Americano de Padrões)
- ASM – Abnormal Situation Management (Gerenciamento de Situações Anormais)
- DCS – Distributed Control System (Sistema de Controle Distribuído)
- FAT – Factory Acceptance Test (Teste de Aceitação em Fábrica)
- HFE – Human Factors Engineering (Engenharia de Fatores Humanos)
- HFES – Human Factors and Ergonomics Society (Sociedade de Fatores Humanos e Ergonomia)
- HMI – Human Machine Interface (Interface Homem-Máquina)
- I/O – Input / Output (Entrada / Saída)
- IEC – International Electrotechnical Commission (Comissão Eletrotécnica Internacional)
- IHM – Interface Homem-Máquina
- ISA – International Society of Automation (Sociedade Internacional de Automação)
- ISO – International Organization for Standardization (Organização Internacional para Padronização)
- KPI – Key Performance Indicator (Indicador Chave de Desempenho)
- MOC – Management of Change (Gerenciamento de Mudanças)
- NBR – Norma Brasileira
- P&ID – Piping and Instrumentation Diagram (Diagrama de Tubulação e Instrumentação)
- PFD – Process Flow Diagram (Diagrama de Fluxo de Processo)
- PLC – Programmable Logic Controller (Controlador Lógico Programável)
- RTU – Remote Terminal Unit (Unidade Terminal Remota)
- SAT – Site Acceptance Test (Teste de Aceitação no Local)
- SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition (Sistema de Supervisão e Aquisição de Dados)
- SIT – Site Integration Test (Teste de Integração no Local)
- TCC – Trabalho de Conclusão de Curso

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	23
1.1	OBJETIVO GERAL	24
1.1.1	Objetivos Específicos	24
1.2	DESCRIÇÃO DOS CAPÍTULOS.....	24
1.3	MOTIVAÇÃO	25
2	REVISÃO DO ESTADO DA ARTE.....	25
2.1	O PROBLEMA DAS IHMS TRADICIONAIS E A SOBRECARGA COGNITIVA.....	25
2.2	A IHM DE ALTA PERFORMANCE E A CONSCIÊNCIA SITUACIONAL	27
2.3	PRINCÍPIOS DE DESIGN DE ALTA PERFORMANCE	27
2.3.1	USO DE CORES E CONTRASTE	28
2.3.2	APRESENTAÇÃO DE INFORMAÇÃO: DADOS VS. INFORMAÇÃO	28
2.3.3	HIERARQUIA DE TELAS (NORMA ANSI/ISA-101.01)	29
2.4	NORMAS DE ERGONOMIA E USABILIDADE (ISO 9241 E ISO 11064)	29
2.5	INTERFACES GRÁFICAS EM USINAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA HIDRELÉTRICA	30
3	METODOLOGIA.....	31
3.1	Fases da Pesquisa.....	31
3.2	Softwares e hardwares	32
4	DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DO PROTÓTIPO	33
4.1	DEFINIÇÃO DO GUIA DE ESTILO (STYLE GUIDE)	33
4.1.1	Paleta de cores.....	33
4.1.2	Tipografia	36
4.2	APRESENTAÇÃO DAS TELAS DO PROTÓTIPO.....	36
4.2.1	Tela de operação	36
4.2.2	Tela da curva de capacidade/capabilidade.....	38

4.2.3	Telas de falhas e eventos	39
4.2.4	Telas de ensaios.....	41
4.2.5	Telas de configurações/parametrizações gerais	42
5	ANÁLISE COMPARATIVA DAS TELAS	45
5.1	TELA DE OPERAÇÃO	46
5.2	TELA DA CURVA DE CAPACIDADE	46
5.3	TELA DE EVENTOS E DE FALHAS	47
5.4	TELAS DE ENSAIOS.....	48
5.5	TELAS DE CONFIGURAÇÕES/PARAMETRIZAÇÕES GERAIS.....	49
6	CONCLUSÃO.....	53
	REFERÊNCIAS.....	55

1 INTRODUÇÃO

As Interfaces Homem-Máquina (IHMs) são o principal canal de comunicação entre os operadores e os complexos sistemas de automação que governam os processos industriais modernos. Em setores de alta criticidade, como o de geração de energia hidroelétrica, a eficácia dessa interface não é apenas uma questão de eficiência, mas um pilar fundamental para a segurança operacional e a confiabilidade da planta. Uma IHM bem projetada capacita o operador a monitorar, controlar e tomar decisões precisas, transformando um vasto volume de dados brutos em informação acionável (INTERNATIONAL SOCIETY OF AUTOMATION, 2015; HOLLIFIELD et al., 2008).

Historicamente, a transição dos painéis de controle físicos, que ofereciam uma visão ampla e tátil do processo, para as primeiras Interfaces Homem-Máquina em Sistemas de Controle Distribuído (DCS) resultou em uma perda significativa da "visão do todo" (the big picture). Os operadores passaram a ter uma visão limitada, como se olhassem o processo "através do buraco da fechadura", o que contribuiu para o aumento da dependência de alarmes para a detecção de anomalias. Muitas dessas IHMs pioneiras, e até mesmo sistemas atuais, foram desenvolvidas com base em paradigmas ultrapassados, frequentemente replicando Diagramas de Tubulação e Instrumentação (P&IDs) nas telas — uma ferramenta de projeto, não de operação. Essa abordagem, muitas vezes apressada e sem o devido rigor técnico, resultou em interfaces poluídas, com excesso de cores, animações desnecessárias e uma organização pouco intuitiva, que podem sobrecarregar cognitivamente o operador e mascarar informações críticas (HOLLIFIELD et al., 2008; INTERNATIONAL SOCIETY OF AUTOMATION, 2015).

A consciência sobre o impacto negativo de IHMs mal projetadas tem crescido, impulsionada por análises de grandes acidentes industriais onde a interface foi citada como um fator contribuinte. Em resposta, a indústria tem desenvolvido um corpo de conhecimento e padronização para reverter esse quadro. Normas como a ANSI/ISA-101.01 oferecem um guia completo para o ciclo de vida e o design de IHMs. Adicionalmente, publicações especializadas como o "The High Performance HMI Handbook" (HOLLIFIELD et al., 2008) e normas de ergonomia como a série ISO 9241 e ISO 11064 consolidam as melhores práticas para a criação de IHMs de alta performance.

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) propõe o estudo aprofundado e o desenvolvimento de um protótipo de IHM industrial para usinas de geração de energia hidroelétrica, estritamente embasado nesses referenciais normativos e na literatura técnica.

1.1 OBJETIVO GERAL

Estudar, analisar e desenvolver um protótipo de interface homem-máquina (IHM) industrial destinada a usinas de geração de energia hidroelétrica, embasando-se em normas internacionalmente reconhecidas e boas práticas de design.

1.1.1 Objetivos Específicos

- Analisar a literatura técnica e as normas pertinentes, com foco na **ANSI/ISA-101.01**, **ISO 9241** e **ISO 11064**, para estabelecer os princípios de design de IHMs de alta performance.
- Definir os requisitos funcionais e não-funcionais do protótipo com base na análise de tarefas operacionais em usinas de geração de energia hidroelétrica.
- Desenvolver um protótipo funcional de IHM que materialize as recomendações normativas e da literatura, focando na criação de um design coeso para um sistema de geração de energia hidroelétrica.
- Avaliar qualitativamente a usabilidade do protótipo por meio de testes com especialistas, focando em critérios de clareza, navegabilidade e suporte à tomada de decisão.
- Analisar os resultados da avaliação para validar a eficácia do design proposto e identificar oportunidades de melhoria.

1.2 DESCRIÇÃO DOS CAPÍTULOS

O presente trabalho está estruturado em cinco capítulos, além deste capítulo 1 que foi a introdução.

O capítulo 2 apresenta uma revisão aprofundada dos conceitos de Interfaces Homem-Máquina (IHM), os princípios de design de alta performance, e detalha as diretrizes das normas ANSI/ISA-101.01, ISO 9241 e ISO 11064, que formam a base para o desenvolvimento do protótipo.

O capítulo 3 detalha os procedimentos, os dispositivos e os aplicativos utilizados na elaboração desse documento.

O capítulo 4 descreve o processo prático de construção da IHM, incluindo a definição do guia de estilo e a implementação dos elementos visuais no software de supervisão.

O capítulo 5 apresenta uma comparação entre as telas desenvolvidas no protótipo e as telas do sistema atual com base na literatura de referência utilizada.

O capítulo 6 sintetiza os resultados do trabalho, reforça as contribuições do estudo para a área e sugere direções para pesquisas futuras.

1.3 MOTIVAÇÃO

A motivação deste estudo é analisar o impacto de Interfaces Homem-Máquina (IHMs) mal projetadas, que frequentemente sobrecarregam cognitivamente os operadores e são citadas como fator contribuinte em acidentes industriais. A aplicação de princípios de design de alta performance, consolidados em normas como a ANSI/ISA-101.01, busca reverter este quadro ao transformar dados brutos em informação acionável e reduzir a carga cognitiva, melhorando a consciência situacional do operador.

Os resultados visam validar que uma IHM projetada com base em fatores humanos e normatização contribui diretamente para a tomada de decisão mais rápida e segura, resultando em maior segurança, confiabilidade e eficiência operacional. Desta forma, o trabalho aborda uma necessidade crítica em plantas de alta complexidade, como as de geração de energia.

2 REVISÃO DO ESTADO DA ARTE

Este capítulo estabelece as bases conceituais para o desenvolvimento de uma Interface Homem-Máquina (IHM) de alta performance, com foco na aplicação em usinas de geração hidrelétrica. A abordagem parte da análise dos problemas inerentes às IHMs tradicionais, introduz a filosofia de alta performance como solução e detalha os princípios de design e as normas técnicas que sustentam o projeto.

2.1 O PROBLEMA DAS IHMS TRADICIONAIS E A SOBRECARGA COGNITIVA

Historicamente, a operação de processos industriais migrou de painéis de controle físicos, que ofereciam uma visão ampla e tátil do processo, para as primeiras IHMs digitais

(HOLLIFIELD et al., 2008). No entanto, essa transição frequentemente resultou em uma perda significativa da "visão do todo" (the big picture), forçando os operadores a monitorar processos complexos através de uma "visão de buraco de fechadura" (VIEIRA, 2018; HOLLIFIELD et al., 2008).

Muitas dessas IHMs pioneiras, e até sistemas atuais, foram desenvolvidas replicando Diagramas de Tubulação e Instrumentação (P&IDs) nas telas (HOLLIFIELD et al., 2008). Essa abordagem é fundamentalmente falha, pois P&IDs são ferramentas de engenharia e projeto, não de operação (VIEIRA, 2018; HOLLIFIELD et al., 2008). O resultado são interfaces poluídas, com excesso de cores, animações desnecessárias e uma organização pouco intuitiva que apresentam um grande volume de dados, mas pouquíssima informação acionável (BASTOS, 2021; HOLLIFIELD et al., 2008).

Este excesso de estímulos visuais e dados descontextualizados impõe uma severa carga cognitiva ao operador (REIS; CARVALHO; VIEIRA, 2024; BASTOS, 2021). A carga cognitiva refere-se ao esforço mental necessário para processar informações, e quando excessiva, pode levar a erros, fadiga e desempenho reduzido (SWELER, 1988 apud SILVA, 2024). Interfaces mal projetadas aumentam a carga cognitiva extrínseca (esforço mental desnecessário causado pelo design do sistema) forçando o operador a gastar recursos mentais para interpretar a tela, em vez de compreender o estado do processo (REIS; CARVALHO; VIEIRA, 2024).

As consequências dessa sobrecarga são graves e bem documentadas. Operadores tornam-se reativos, uma condição perigosa conhecida como "operar pelos alarmes" (running by alarms), onde a resposta a um distúrbio só ocorre após a ativação de um alarme, quando a situação já pode ter escalado (HOLLIFIELD et al., 2008). Mais criticamente, falhas de design em IHMs têm sido citadas como fatores contribuintes em grandes acidentes industriais (VIEIRA, 2018; BASTOS, 2021). O desastre na refinaria da BP em Texas City, em 2005, é um exemplo emblemático: informações cruciais sobre o fluxo de entrada e saída de uma torre de destilação estavam em telas separadas, impedindo que o operador tivesse a consciência situacional necessária para evitar o transbordamento que levou à explosão (VIEIRA, 2018; HOLLIFIELD et al., 2008).

2.2 A IHM DE ALTA PERFORMANCE E A CONSCIÊNCIA SITUACIONAL

Em resposta às deficiências sistêmicas das IHMs tradicionais, surgiu a filosofia de design de alta performance. Seu objetivo principal não é estético, mas sim funcional: reduzir a carga cognitiva do operador para aprimorar a Consciência Situacional (Situational Awareness - SA) (RODRIGUES, 2022; HOLLIFIELD et al., 2008). A SA é a capacidade do operador de entender o que está acontecendo no processo e antecipar seu estado futuro (VIEIRA, 2018). O modelo mais aceito, proposto por Endsley, divide a SA em três níveis (REIS; CARVALHO; VIEIRA, 2024):

- Nível 1 (Percepção): A percepção dos status e dinâmicas dos elementos relevantes no ambiente.
- Nível 2 (Compreensão): A síntese dos elementos percebidos em uma compreensão holística da situação atual.
- Nível 3 (Projeção): A capacidade de projetar o estado futuro do sistema com base na compreensão atual.

Uma IHM de alta performance é projetada para apoiar ativamente todos os três níveis de SA (HOLLIFIELD et al., 2008). A base científica para a eficácia deste design reside no conceito de processamento pré-atentivo. O sistema visual humano pode detectar certos atributos básicos — como cor, forma e movimento — de forma automática, paralela e em menos de 250 milissegundos, antes que a atenção consciente seja focada (TREISMAN, 1985 apud HEALEY; ENNS, 1999).

O design de alta performance explora essa capacidade inata. Ao utilizar um fundo cinza e de baixo contraste, a tela se torna "monótona" durante a operação normal (HOLLIFIELD et al., 2008). Quando uma condição anormal ocorre, um indicador com uma cor saturada (como vermelho ou amarelo) cria um efeito de "pop-out", sendo instantaneamente detectado pelo sistema pré-atentivo do operador, direcionando sua atenção para onde ela é necessária (HOLLIFIELD et al., 2008).

2.3 PRINCÍPIOS DE DESIGN DE ALTA PERFORMANCE

A filosofia de alta performance se materializa através de um conjunto de princípios de design práticos, detalhados na norma ANSI/ISA-101.01 e no The High Performance HMI Handbook.

2.3.1 USO DE CORES E CONTRASTE

É possível destacar dois grandes princípios nesse subcapítulo, são eles:

- Fundo neutro: o fundo da tela deve ser de uma cor neutra e insaturada, como um cinza claro (ex: #C0C0C0) (INTERNATIONAL SOCIETY OF AUTOMATION, 2015; HOLLIFIELD et al., 2008). Isso minimiza o brilho, reduz a fadiga visual em longos turnos e fornece um contraste ideal para que as informações importantes se destaquem (VIEIRA, 2018; BASTOS, 2021).

- Uso reservado de cores: cores vivas e saturadas devem ser reservadas exclusivamente para indicar estados anormais e alarmes (INTERNATIONAL SOCIETY OF AUTOMATION, 2015). Equipamentos, tubulações e valores em estado normal devem ser representados em tons de cinza de baixo contraste ou preto (HOLLIFIELD et al., 2008). A cor nunca deve ser o único meio de transmitir informação, para acomodar usuários com deficiências visuais como o daltonismo (INTERNATIONAL SOCIETY OF AUTOMATION, 2015; HOLLIFIELD et al., 2008).

2.3.2 APRESENTAÇÃO DE INFORMAÇÃO: DADOS VS. INFORMAÇÃO

O mantra "dados não são informação" é central para o design de alta performance (HOLLIFIELD et al., 2008, p. 53). Um valor numérico bruto é um dado; um valor apresentado em um contexto que torna seu significado imediatamente óbvio é informação. Abaixo, são apresentadas duas ferramentas importantes na apresentação dos dados:

- Indicadores Analógicos: Os seres humanos processam informações analógicas (um ponteiro em uma escala, uma barra de progresso) mais rapidamente do que números digitais para fazer julgamentos relativos (HOLLIFIELD et al., 2008). Uma IHM de alta performance utiliza indicadores analógicos que integram o valor atual, a faixa de operação desejada e os limites de alarme em um único objeto gráfico intuitivo (VIEIRA, 2018; HOLLIFIELD et al., 2008).
- Gráficos de tendência: Um valor estático informa "onde o processo está agora". Um gráfico de tendência informa "de onde ele veio" e "para onde está indo", sendo essencial para a projeção (SA Nível 3) (HOLLIFIELD et al., 2008, p. 62). As variáveis mais críticas devem ter gráficos de tendência pequenos e embarcados diretamente nas telas de operação primárias, em vez de estarem ocultos em telas separadas (HOLLIFIELD et al., 2008).

2.3.3 HIERARQUIA DE TELAS (NORMA ANSI/ISA-101.01)

Para combater o "efeito buraco de fechadura", a norma ISA-101.01 preconiza uma arquitetura de telas hierárquica em quatro níveis, que organiza a informação de forma lógica e permite a divulgação progressiva de detalhes (INTERNATIONAL SOCIETY OF AUTOMATION, 2015; HOLLIFIELD et al., 2008).

- Nível 1 – Visão Geral da Área: Fornece a "visão do todo" da área de responsabilidade do operador. Foca em monitoramento de alto nível, com Indicadores Chave de Desempenho (KPIs) de segurança, produção e eficiência, e o status dos principais sistemas (INTERNATIONAL SOCIETY OF AUTOMATION, 2015, p. 43).
- Nível 2 – Controle da Unidade de Processo: É a tela de operação primária para tarefas de rotina. Contém todas as informações e controles necessários para operar uma subunidade principal (ex: um sistema de caldeira, uma unidade geradora) (INTERNATIONAL SOCIETY OF AUTOMATION, 2015, p. 44).
- Nível 3 – Detalhes da Unidade: Utilizada para diagnóstico, solução de problemas e operações não rotineiras. Foca em equipamentos individuais ou subsistemas complexos, exibindo todos os laços de controle, indicadores e lógicas associadas (INTERNATIONAL SOCIETY OF AUTOMATION, 2015, p. 45).
- Nível 4 – Suporte e Diagnóstico: Fornece informações de suporte, não para controle direto. Inclui detalhes de configuração de instrumentos, documentação de alarmes, manuais de operação e diagnósticos de hardware (INTERNATIONAL SOCIETY OF AUTOMATION, 2015, p. 46).

2.4 NORMAS DE ERGONOMIA E USABILIDADE (ISO 9241 E ISO 11064)

As diretrizes da ISA-101 são complementadas por normas internacionais de ergonomia que fornecem uma base teórica mais ampla para o design centrado no ser humano.

A começar pela ISO 9241 – Ergonomia da Interação Humano-Sistema, que apresenta uma série de normas que estabelecem os fundamentos da usabilidade (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019).

A norma ISO 11064 – Design Ergonômico de Centros de Controle aborda o ambiente físico da sala de controle, incluindo layout dos consoles, dimensões, iluminação e acústica (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2000). Embora o foco deste trabalho seja o software, é crucial reconhecer que a IHM opera dentro de um contexto físico que deve ser ergonomicamente projetado para garantir a eficácia do operador (BASTOS, 2021).

2.5 INTERFACES GRÁFICAS EM USINAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA HIDRELÉTRICA

A aplicação dos princípios de alta performance em uma usina hidrelétrica requer a tradução dos conceitos teóricos para as variáveis e tarefas específicas deste domínio. O objetivo é fornecer ao operador uma visão clara e integrada do estado da geração.

O primeiro princípio é analisar as variáveis e KPIs críticos, onde em uma usina hidrelétrica, as informações mais importantes incluem a frequência lida pelos transformadores de potencial (TPs) e sensores magnéticos do tipo pick-up, a posição do distribuidor (turbinas Francis e Kaplan, onde também existe a posição das pás da turbina) ou das agulhas e defletores (para turbinas Pelton), a potência ativa (MW) e reativa (MVar) de cada unidade geradora, tensão e corrente de campo e estatórica, status de comportas e disjuntores (de grupo e de campo), além de, caso a IHM também tenha interface com a unidade hidráulica, temperatura, pressão, nível do óleo dos acumuladores e reservatórios.

O segundo princípio é a aplicação da hierarquia de telas, que deve conter os seguintes níveis:

- Tela de nível 1 (Visão Geral da Usina): Apresentaria os KPIs mais importantes apresentados anteriormente. Isso permitiria ao operador avaliar a saúde geral da usina em um relance (INTERNATIONAL SOCIETY OF AUTOMATION, 2015).
- Tela de nível 2 (Controle da Unidade Geradora): Haveria uma tela dedicada para cada conjunto turbina-gerador. Nela, o operador encontraria todas as informações para a operação normal: indicadores analógicos para potência, frequência, tensão, corrente e pressão, por exemplo, com gráficos de tendências mostrando o comportamento recente. Os controles para iniciar, parar ou ajustar a carga da unidade estariam nesta tela (HOLLIFIELD et al., 2008).

- Tela de nível 3 (Detalhes do Equipamento): Para diagnosticar um problema, o operador poderia navegar para telas de Nível 3. Uma tela poderia detalhar todos as falhas de sistema: falha no módulo, falha de alimentação de entradas digitais, falha de inconsistência entre canais, dentre outras aplicáveis a cada projeto. Outra poderia mostrar as falhas da unidade hidráulica, outros do módulo de potência (VIEIRA, 2018).
- Tela de nível 4 (Suporte e Diagnóstico): Conteria informações como os diagramas lógicos dos intertravamentos de proteção da unidade, manuais de operação e procedimentos para manobras complexas (INTERNATIONAL SOCIETY OF AUTOMATION, 2015).

Ao estruturar a informação desta forma, a IHM deixa de ser uma fonte de dados brutos e se torna uma ferramenta cognitiva, projetada para otimizar a percepção, a compreensão e a capacidade de projeção do operador, resultando em uma operação mais segura e eficiente (RODRIGUES, 2022).

3 METODOLOGIA

Neste capítulo, são detalhados os procedimentos metodológicos adotados para atingir os objetivos propostos. A pesquisa caracteriza-se como aplicada, com abordagem qualitativa e desenvolvimento de protótipo. A estrutura metodológica seguirá as etapas do ciclo de vida da Interface Homem-Máquina (IHM), conforme preconizado pela norma ANSI/ISA-101.01, garantindo um processo sistemático e alinhado às melhores práticas da indústria.

3.1 FASES DA PESQUISA

O trabalho será conduzido em quatro fases principais, mapeadas a partir do ciclo de vida da ISA-101:

A fase inicial corresponde à fundamentação teórica do projeto. As atividades incluem:

- **Revisão Bibliográfica Aprofundada:** Análise crítica das normas ANSI/ISA-101.01 (design e ciclo de vida de IHMs), duas normas menos utilizadas, mas referenciadas: ISO 9241 (ergonomia e usabilidade) e ISO 11064 (design de centros de controle), além de publicações de referência como o *"The High*

Performance HMI Handbook", e o white paper de guia de estilo da Rockwell Automation.

- **Desenvolvimento do Guia de Estilo (Style Guide):** Com base na revisão, será criado um documento conciso que servirá como o "manual de regras" para o protótipo. Este guia definirá os padrões de uso de cores (ex: fundo cinza, cores saturadas apenas para alarmes) e tipografia, materializando a filosofia de alta performance.

Em seguida, será o desenvolvimento prático do protótipo. A atividade principal é:

- **Construção do Protótipo Funcional:** Utilizando o software do futuro novo editor de telas IHM da REIVAX, as telas projetadas serão construídas, aplicando rigorosamente as regras do Guia de Estilo e os princípios de alta performance, como o uso de indicadores analógicos e gráficos de tendências para transformar dados em informação visualmente acionável.

E, a última fase foca na validação do protótipo. As atividades incluem:

- **Análise dos Resultados:** As telas da IHM serão comparadas e analisadas antes e depois da aplicação das boas práticas da IHM de alta performance.

3.2 SOFTWARES E HARDWARES

Para a execução das fases descritas, será utilizado o software de edição gráfica próprio da REIVAX LTDA, chamado atualmente de xVision. Para o hardware, as especificações técnicas estão no Quadro 1.

Quadro 1 – Especificações técnicas do notebook utilizado.

Componente	Especificação
Processador (CPU)	AMD Ryzen 5 5625U 2.30 GHz
Memória RAM	16GB
Placa de Vídeo (GPU)	Radeon Graphics (integrada)
Armazenamento	SSD NVME M.2 256GB
Sistema Operacional	Windows 11 Pro
Tamanho da tela	14,1 polegadas

Fonte: De autoria própria.

4 DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DO PROTÓTIPO

Este capítulo descreve o processo de desenvolvimento e implementação do protótipo de Interface Homem-Máquina (IHM) de alta performance, concebido para a operação de uma usina hidrelétrica. As etapas aqui detalhadas seguem a metodologia apresentada no capítulo anterior, aplicando os conceitos da norma ANSI/ISA-101.01 e os princípios de design da literatura técnica para criar uma interface segura, eficiente e centrada no operador. O processo abrange desde a criação de um Guia de Estilo, passando pela definição da arquitetura da IHM, até a construção das telas funcionais.


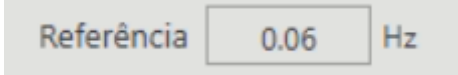
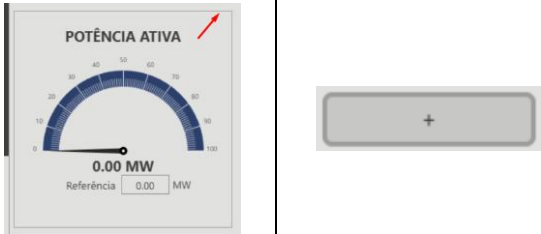
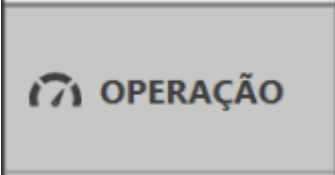
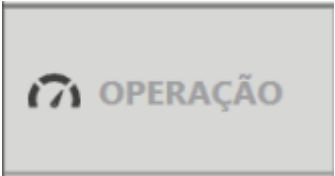
4.1 DEFINIÇÃO DO GUIA DE ESTILO (STYLE GUIDE)

Conforme a primeira fase da metodologia, a criação de um guia de estilo é fundamental para garantir a consistência e a padronização em todo o projeto (INTERNATIONAL SOCIETY OF AUTOMATION, 2015). Este documento serve como um conjunto de regras de design, traduzindo a filosofia de alta performance em diretrizes de implementação práticas.

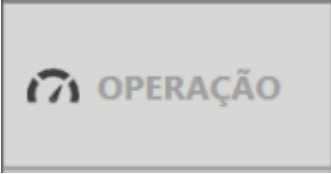






4.1.1 Paleta de cores

A utilização de cores foi estritamente controlada para reduzir a carga cognitiva e explorar o processamento pré-atentivo do operador (HOLLIFIELD et al., 2008). Cores saturadas foram reservadas exclusivamente para indicar estados que exigem a atenção do operador, como eventos de falhas leves e críticas, enquanto as tonalidades de cinza foram utilizadas em todos os outros objetos, levando em conta princípios de normas, ou boas práticas que facilitam a leitura. A paleta de cores padrão do protótipo é detalhada no Quadro 2.


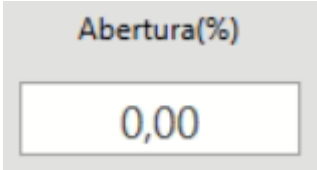
Quadro 2 – Paleta de cores.

Objeto	Código hexadecimal da cor utilizada	Justificativa	Figura exemplo
Fundo da IHM	#E0E0E0 'Very light gray'	Conforme Hollifield et al. (2008) e ISA-101 (2015), o cinza neutro reduz a fadiga visual e destaca as cores de alarme.	
Letras e números, inclusive mensagens de alarmes (falhas leves)	#3F3F3F 'Very dark gray'	Sem regra específica, mas, por boa prática, foi adotada uma cor bem mais escura que os demais objetos.	
Borda de todos objetos	#9C9C9C 'Dark gray'	Não possui uma regra específica para a cor das bordas, entretanto, foi adotada uma cor de cinza neutro que fosse levemente mais escura que a cor do fundo. Os botões possuem a mesma cor de borda, porém com um raio de 5 'pixels'.	
Fundo de botões não pressionados	#C6C6C6 'Light gray'	Escolhida uma cor que é mais escura que o fundo da IHM, entretanto mais clara que a cor da borda.	
Fundo de botões pressionados	#D6D6D6 'Light gray'	Criada essa diferenciação de fundos entre botões para deixar claro para o operador que aquele botão foi pressionado e que agora esse botão não é mais um botão propriamente dito.	

Quadro 2 – Paleta de cores. (continuação)

Objeto	Código hexadecimal da cor utilizada	Justificativa	Figura exemplo	
Letras de botões pressionados	#A0A0A0 'Dark gray'	Única exceção de cor de letras devido à regra criada para o fundo de botões pressionados. Escolhida um tom de cinza que diferenciava do fundo, mantendo a legibilidade.		
Fundos de quadros dinâmicos de estados do regulador	Se atuado: #606060 'Very dark gray' Se não atuado: #E0E0E0 'Very light gray'	Criado o padrão para objetos que são dinâmicos, isto é, se a variável associada a ele é TRUE, tem um comportamento e caso seja FALSE, possui um comportamento diferente.	ESTADO 'FALSE': 	ESTADO 'TRUE': 
Letras de quadros dinâmicos de estados do regulador	Se atuado: #E0E0E0 'Very dark gray' Se não atuado: #3F3F3F 'Very light gray'	Para a letra das cores, quando o estado é 'TRUE', foi utilizada a mesma cor do fundo #E0E0E0, e para estado 'FALSE' é utilizada a cor padrão para letras #3F3F3F	ESTADO 'FALSE': 	ESTADO 'TRUE': 
Fundo de objetos de alarme	#FEF101 'Vivid yellow'	Cor de alta saturação, mas hierarquicamente inferior ao vermelho, conforme boas práticas de gestão de alarmes.		
Fundo de objetos de TRIP	#DA251d 'vivid red'	Cor de alta saturação para criar o efeito "pop-out" e atrair a atenção imediata do operador (HOLLIFIELD et al., 2008).		

Quadro 2 – Paleta de cores. (continuação)

Objeto	Código hexadecimal da cor utilizada	Justificativa	Figura exemplo
Letras e números de objetos de TRIP	#FFFFFF 'White'	Cor branca para que fique totalmente legível com o fundo em vermelho.	
Fundos de campos de inserção de valores	#FFFFFFF 'White'	Embora as normas não especifiquem uma cor de fundo para campos de entrada, a cor branca foi escolhida por proporcionar alto contraste com o fundo cinza da tela, melhorando a legibilidade e identificação da área interativa.	

Fonte: De autoria própria.

4.1.2 Tipografia

A tipografia foi padronizada para garantir a máxima legibilidade. Foi utilizada a fonte Segoe UI, um tipo não serifado, que é mais adequado para leitura em telas digitais (HOLLIFIELD et al., 2008). A hierarquia de informações foi reforçada pelo “peso” da fonte: títulos de quadros, botões e leituras da tela de operação em negrito e letra maiúscula e as demais em regular e apenas com a primeira letra em maiúsculo.

4.2 APRESENTAÇÃO DAS TELAS DO PROTÓTIPO

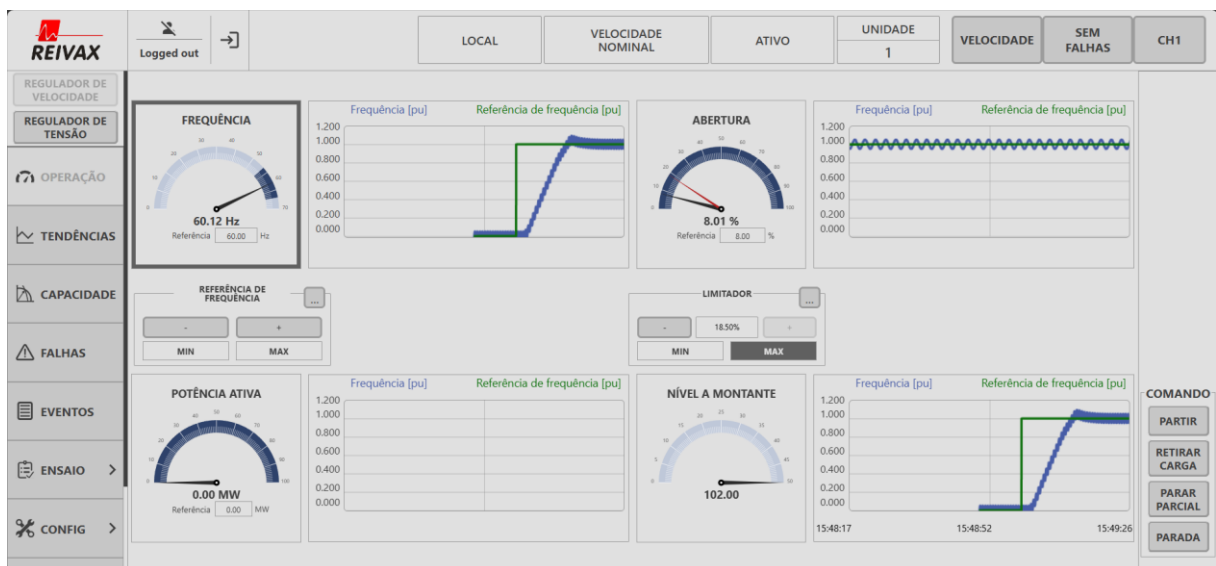
Esta seção apresenta as telas desenvolvidas, demonstrando a aplicação prática dos princípios e regras definidos no Guia de Estilo.

4.2.1 Tela de operação

A Figura 1 exibe a tela de nível 2, projetada para ser a principal interface de operação da unidade geradora, conforme a hierarquia da norma ANSI/ISA-101.01 (INTERNATIONAL

SOCIETY OF AUTOMATION, 2015). Um avanço fundamental em relação às interfaces existentes no projeto em desenvolvimento atual foi a integração de gráficos de tendências diretamente ao lado dos seus respectivos indicadores analógicos (“gauges”). Essa abordagem transforma a tela de uma simples exibidora de dados estáticos em uma ferramenta de análise dinâmica, fornecendo ao operador o contexto histórico de cada variável crítica (“de onde ela veio”) e facilitando a projeção de seu comportamento futuro (“para onde está indo”), um elemento essencial para a Consciência Situacional de Nível 3 (HOLLIFIELD et al., 2008). Conforme recomendado pela literatura, as variáveis mais importantes possuem essas tendências diretamente na tela primária de operação, evitando que fiquem ocultas em menus separados (HOLLIFIELD et al., 2008).

Figura 1 – Tela de operação da unidade geradora com unidade em velocidade nominal

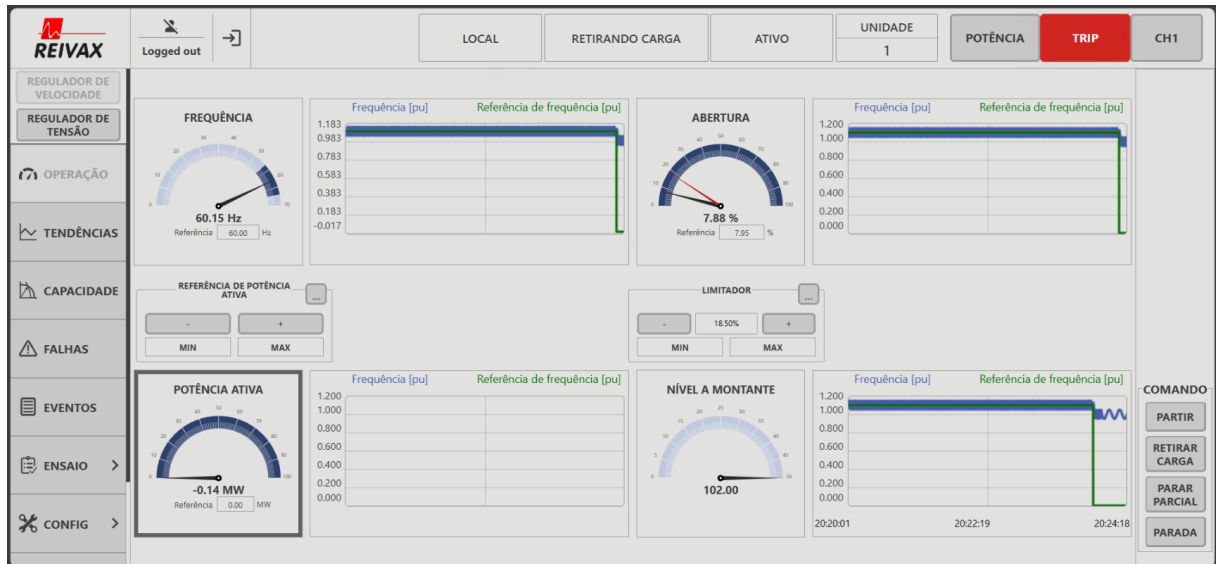


Fonte: De autoria própria.

Adicionalmente, todos os elementos visuais foram rigorosamente padronizados de acordo com o Guia de Estilo definido no capítulo 4.1. A paleta de cores adota um fundo cinza neutro, reservando cores saturadas exclusivamente para alarmes (INTERNATIONAL SOCIETY OF AUTOMATION, 2015), o que reduz a carga cognitiva e explora o processamento pré-atentivo do operador em condições anormais (HOLLIFIELD et al., 2008). Na Figura 2 é apresentada essa mesma tela com um TRIP atuado. A tipografia foi unificada utilizando a fonte Segoe UI para garantir a máxima legibilidade em monitores digitais, a padronização de botões (se pressionados ou não) e outros quadros dinâmicos em ambos os estados de ‘TRUE’ e ‘FALSE’ assegura a consistência em toda a IHM (INTERNATIONAL SOCIETY OF AUTOMATION, 2015), resultando em uma interface que otimiza a tomada de

decisão e melhora a capacidade do operador de responder à alarmes e falhas críticas (TRIPs) de forma proativa (HOLLIFIELD et al., 2008).

Figura 2 – Tela de operação da unidade geradora com TRIP atuado



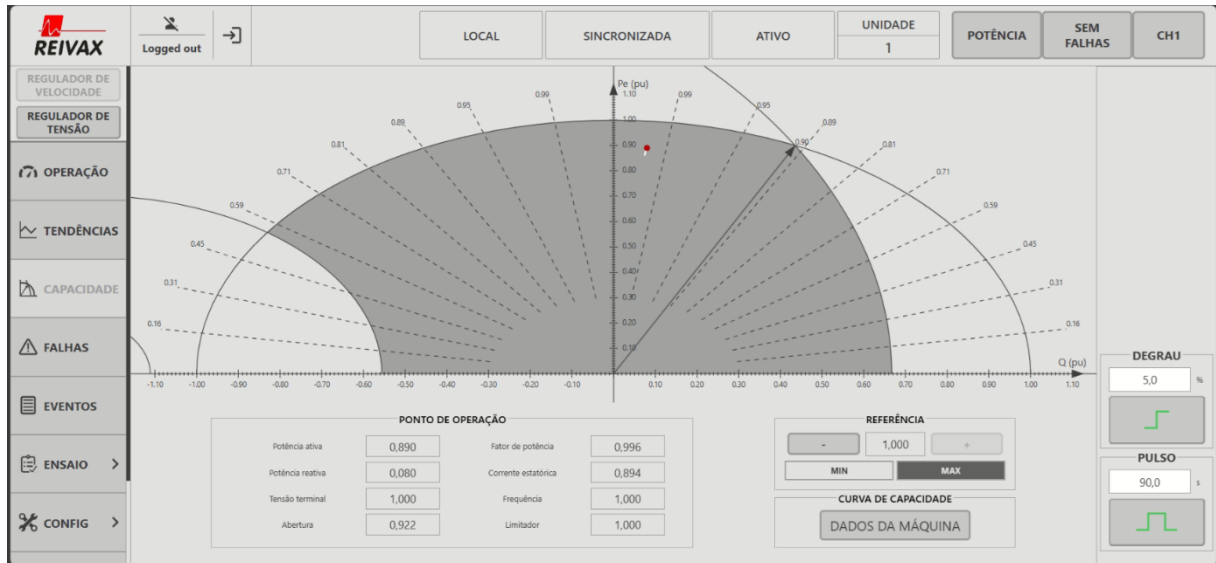
Fonte: De autoria própria.

4.2.2 Tela da curva de capacidade/capabilidade

A Figura 3 apresenta a tela da curva de capacidade da unidade geradora, uma ferramenta essencial que permite ao operador visualizar os limites de operação segura em relação às potências ativa (MW) e reativa (MVar). O design desta tela seguiu rigorosamente os padrões definidos no Guia de Estilo (Quadro 2), garantindo consistência e aplicando os princípios de alta performance para otimizar a consciência situacional do operador.

Os campos destinados à inserção de valores, como os de "DEGRAU" e "PULSO", foram destacados com o fundo branco (#FFFFFF), também conforme o Quadro 2.

Figura 3 – Tela da curva de capacidade da unidade geradora em carga.



Fonte: De autoria própria.

4.2.3 Telas de falhas e eventos

Conforme detalhado no Quadro 2, a interface mantém-se visualmente neutra durante a operação normal, utilizando os tons de cinza. No entanto, na ocorrência de alguma falha, as regras da paleta de cores são aplicadas.

A mensagem de alarme apresentada na Figura 4 está contida em um quadro de fundo amarelo vívido (#FEF101). Esta cor de alta saturação se destaca sobre o fundo cinza, alertando o operador sobre uma condição anormal, mas que ainda é hierarquicamente menos crítica que uma mensagem de TRIP. A mensagem de alarme é exibida na cor padrão de texto (#3F3F3F), mantendo o padrão e a legibilidade.

Figura 4 – Tela de falhas com uma falha leve (alarme) atuado.

The screenshot displays the REIVAX control interface. At the top, there are several status indicators: 'LOCAL', 'VELOCIDADE NOMINAL', 'ATIVO', 'UNIDADE 1', 'VELOCIDADE', 'ALARME' (highlighted in yellow), and 'CH1'. Below these, a table shows the event details for 'CANAL 1':

ID DO EVENTO	DESCRIÇÃO
1056	24 Vdc EXTERNAL SIGNALS POWER SUPPLY FAILURE

On the right side, there is a 'LEGENDA' section with a yellow square for 'ALARME' and a red square for 'TRIP'. Below it, the date and time '2025/08/25 16:54:59' are shown. At the bottom right, there is a 'COMANDO' section with a 'REARME' button.

Fonte: De autoria própria.

Em seguida, a mensagem de TRIP apresentada na Figura 5 está contida em um quadro de fundo vermelho vívido (#DA251D). Esta cor de altíssima saturação cria o "efeito pop-out" que atrai a atenção imediata e inconfundível do operador para uma condição que exige resposta urgente (HOLLIFIELD et al., 2008).

Para garantir a máxima clareza, o texto sobre o fundo vermelho é escrito em branco (#FFFFFF), proporcionando o maior contraste e legibilidade possíveis.

Figura 5 – Tela de falhas com uma falha crítica (TRIP) atuado.

The screenshot displays the REIVAX control interface. At the top, there are several status indicators: 'LOCAL', 'RETIRANDO CARGA', 'ATIVO', 'UNIDADE 1', 'POTÊNCIA', 'TRIP' (highlighted in red), and 'CH1'. Below these, a table shows the event details for 'CANAL 1':

ID DO EVENTO	DESCRIÇÃO
3172	FIELD BREAKER OPEN WHILE ONLINE

On the right side, there is a 'LEGENDA' section with a yellow square for 'ALARME' and a red square for 'TRIP'. Below it, the date and time '2025/08/25 16:52:41' are shown. At the bottom right, there is a 'COMANDO' section with a 'REARME' button.

Fonte: De autoria própria.

Na Figura 6 é apresentada a tela de eventos com alguns alarmes e TRIPs atuados, a paleta de cores aplicada foi a mesma dos apresentados anteriormente referentes às falhas leves e críticas da tela de “FALHAS”. Os botões dessa tela e das anteriores permanecem seguindo o mesmo padrão de forma e cores.

Figura 6 – Tela de eventos com alarmes e TRIPs atuados.

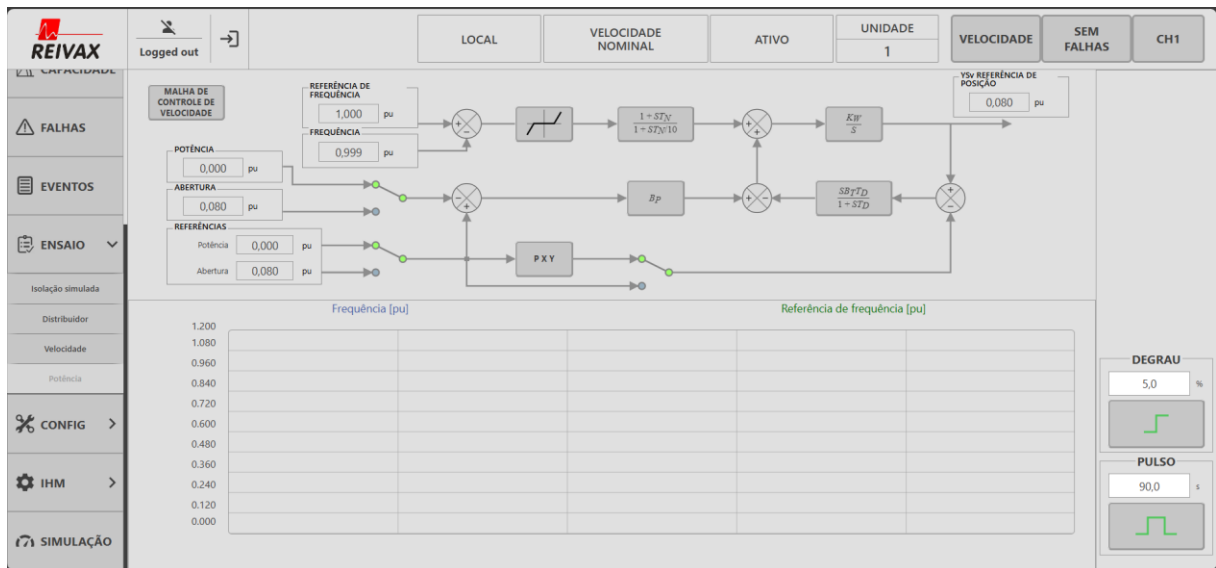
REGULADOR DE VELOCIDADE	REGULADOR DE TENSÃO	OPERAÇÃO	TENDÊNCIAS	CAPACIDADE	FALHAS	EVENTOS	ENSAIO
	2025/08/25 - 21:09:36.182	2090	VÁLVULA 65 ABERTA POR COMANDO EXTERNO	ALARME	1	1	
	2025/08/25 - 21:09:36.172	3111	PROT. SOBRECORRENTE (50/51) - FASE C	ALARME PROTEÇÃO	1	1	
	2025/08/25 - 21:09:36.172	3110	PROT. SOBRECORRENTE (50/51) - FASE B	ALARME PROTEÇÃO	1	1	
	2025/08/25 - 21:09:36.172	3014	ALARME PROTEÇÃO	ATIVO	1	1	
	2025/08/25 - 21:09:36.172	3109	PROT. SOBRECORRENTE (50/51) - FASE A	ALARME PROTEÇÃO	1	1	
	2025/08/25 - 21:09:35.982	3015	TRIP PROTEÇÃO	ATIVO	1	1	
	2025/08/25 - 21:09:35.982	3127	PROT. SOBRECORRENTE (50/51) - FASE C	TRIP PROTEÇÃO	1	1	
	2025/08/25 - 21:09:35.982	3126	PROT. SOBRECORRENTE (50/51) - FASE B	TRIP PROTEÇÃO	1	1	
	2025/08/25 - 21:09:35.982	3125	PROT. SOBRECORRENTE (50/51) - FASE A	TRIP PROTEÇÃO	1	1	
	2025/08/25 - 21:09:35.868	1904	EVENTO NA REDE ELÉTRICA	DETECTADO	1	1	
	2025/08/25 - 21:09:35.692	10511	CPX DO11	DESCIDA	1	1	
	2025/08/25 - 21:09:35.682	10501	CPX DO01	DESCIDA	1	1	
	2025/08/25 - 21:09:35.682	3172	ABERTURA INTERR. CAMPO C/ UNIDADE SINCRONIZADA	TRIP	1	1	
	2025/08/25 - 21:09:35.682	13017	PARTIDA - PERMISSIVEL EXTERNO E RT PRONTO	NÃO ATUADO	1	1	
	2025/08/25 - 21:09:35.682	13003	PRONTO PARA EXCITAR	NÃO PRONTO	1	1	
	2025/08/25 - 21:09:35.682	12003	PRONTO PARA PARTIR	NÃO PRONTO	1	1	
	2025/08/25 - 21:09:35.682	1013	TRIP	ATUADO	1	1	
	2025/08/25 - 21:09:35.682	12017	PARTIDA - PERMISSIVEL EXTERNO E RV PRONTO	NÃO ATUADO	1	1	
	2025/08/25 - 21:09:35.667	1001	DISJUNTOR DE GRUPO (52)	FECHADO	1	1	

Fonte: De autoria própria.

4.2.4 Telas de ensaios

Na Figura 7 e na Figura 8 são apresentadas as telas dos parâmetros de controle da unidade geradora. Igualmente à todas as outras telas, o guia de estilo também foi aplicado nessas. Todos os botões dessa tela possuem exatamente a mesma estilização, mantendo todo o padrão desenvolvido até agora. Além disso, os campos onde podem ser inseridos valores, após habilitar o modo teste, por exemplo, são facilmente diferenciados dos campos de apenas leitura e não escrita.

Figura 7 – Tela de parametrização de variáveis de controle de potência e velocidade da unidade geradora.



Fonte: De autoria própria.

Figura 8 – Tela de parametrização de variáveis de controle da válvula distribuidora e do atuador (distribuidor) da turbina.



Fonte: De autoria própria.

4.2.5 Telas de configurações/parametrizações gerais

Da Figura 9 até a Figura 12 são apresentadas as telas de configurações/parametrizações gerais da unidade geradora. Com a aplicação do guia de estilo, as telas e seus objetos (botões, campos de inserção de valores e campos dinâmicos de estado do regulador) seguem os padrões já estabelecidos e esses padrões contribuem com o aprendizado do operador com a IHM.

Figura 9 – Tela de parametrização das características nominais da unidade geradora.

The screenshot displays the REIVAX software interface for configuring generator nominal characteristics. The interface is organized into several sections:

- Top Bar:** Includes the REIVAX logo, a 'Logged out' status, and navigation icons. The main configuration area has tabs for LOCAL, VELOCIDADE NOMINAL, ATIVO, UNIDADE (set to 1), VELOCIDADE, SEM FALHAS, and CH1.
- Left Sidebar:** A vertical menu with options: FALHAS, EVENTOS, ENSAIO, CONFIG, and a sub-menu for CONFIG containing: Medições, Referências, Lógica, Falhas, Relés, Interface analógica, and Informações.
- Main Content Area:**
 - DADOS NOMINAIS:** The active tab, showing nominal data for the machine.

TP/TC Primário		TP/TC Secundário	
Tensão	13,800 kV	120,40	V
Potência	122,00 MVA	5322,1	VA
Corrente	5104,1 A	25,52	A
 - MEDIÇÕES:** A section for measurement parameters.

Tensão terminal	13,800 kV	1,0000 pu
Potência ativa	0,00 MW	0,0000 pu
Potência reativa	0,0 MVar	0,0000 pu
Potência aparente	0,0 MVA	0,0000 pu
Corrente estatística	0,0 A	0,0000 pu
 - QUEDA PARA CONTROLE:** Control drop parameters.

Mínimo	6,00 m
Máximo	655,35 m
 - NÍVEL A MONTANTE:** Upstream level parameters.

Nominal	100,00 m
Nível a montante	102,00 m
Nível a jusante	1,0200 pu
 - NÍVEL A JUSANTE:** Downstream level parameters.

Nominal	80,00 m
Nível a jusante	82,00 m
Nível a jusante	1,0250 pu

Fonte: De autoria própria.

Figura 10 – Tela de parametrização dos transformadores de potencial (TP) e de corrente (TC) da unidade geradora.

The screenshot displays the REIVAX software interface for configuring potential (TP) and current (TC) transformers. The interface is organized into several sections:

- Top Bar:** Includes the REIVAX logo, a 'Logged out' status, and navigation icons. The main configuration area has tabs for LOCAL, VELOCIDADE NOMINAL, ATIVO, UNIDADE (set to 1), VELOCIDADE, SEM FALHAS, and CH1.
- Left Sidebar:** A vertical menu with options: FALHAS, EVENTOS, ENSAIO, CONFIG, and a sub-menu for CONFIG containing: Medições, Referências, Lógica, Falhas, Relés, Interface analógica, and Informações.
- Main Content Area:**
 - DADOS NOMINAIS TP:** Nominal data for the potential transformer.

Primário	13,181 kV
Secundário	115,00 V
Relação	114,6
 - DADOS NOMINAIS TC:** Nominal data for the current transformer.

Primário	1000 A
Secundário	5,000 A
Relação	200,0
 - THETA TP/TC:** A parameter field set to 0,0 °.
 - CONEXÃO DO TP:** Connection type for the potential transformer, selected as 3P Yy, with a 'TROCÁR' button.
 - CONEXÃO DO TC:** Connection type for the current transformer, selected as 3P, with a 'TROCÁR' button.
 - LEITURAS SECUNDÁRIAS POR FASE:** Secondary readings per phase.

	Tensão (V)	Corrente (A)	Potência ativa (W)	Potência reativa (VAR)	Potência aparente (VA)	Ângulo (°)
A	69,51	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0
B	69,51	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0
C	69,51	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0

Fonte: De autoria própria.

Figura 11 – Tela de parametrização dos medidores de frequência (TPs) e rotação (sensores indutivos ‘pick-ups’) da unidade geradora.

The screenshot displays the REIVAX control interface for frequency and rotation parameterization. The interface is organized into a sidebar on the left and a main content area. The sidebar includes navigation options: FALHAS, EVENTOS, ENSAIO, and CONFIG. The main content area is divided into tabs: DADOS NOMINAIS, TPS E TCS, FREQUÊNCIA, NÍVEL, and DISTRIBUIDOR. The FREQUÊNCIA tab is active, showing three sections: TP, PICKUP 1, and PICKUP 2. Each section has input fields for nominal frequency, notch frequencies, and cut-off frequency, along with status buttons (SEM FALHAS, INATIVO, ATIVO) and a HABILITADO/DESABILITADO toggle.

Section	Parameter	Value	Unit
TP	Nominal	60,00	Hz
	Leitura	60,00	Hz
	Relé	300,0	rpm
PICKUP 1	Frequência nominal	20,0	Hz
	Fnotch1	100,00	Hz
	Fnotch2	123,00	Hz
PICKUP 2	Frequência nominal	20,00	Hz
	Fnotch1	2,00	Hz
	Fnotch2	1,00	Hz

Fonte: De autoria própria.

Figura 12 – Tela de parametrização das medições analógicas de nível montante e jusante da unidade geradora.

The screenshot displays the REIVAX control interface for analog level measurement parameterization. The interface is organized into a sidebar on the left and a main content area. The sidebar includes navigation options: FALHAS, EVENTOS, ENSAIO, and CONFIG. The main content area is divided into tabs: DADOS NOMINAIS, TPS E TCS, FREQUÊNCIA, NÍVEL, and DISTRIBUIDOR. The NÍVEL tab is active, showing two sections: NÍVEL A MONTANTE and NÍVEL A JUSANTE. Each section has input fields for current (mA), level (m), and time constant (s). A third section, QUEDA PARA CONTROLE, has input fields for minimum, maximum, and control values.

Section	Parameter	Value	Unit
NÍVEL A MONTANTE	Leitura	20,320	mA
	I1	3,000	mA
	I2	20,000	mA
	O1	0,00	m
	O2	100,00	m
	Tau	30,000	s
NÍVEL A JUSANTE	Leitura	16,940	mA
	I1	3,000	mA
	I2	20,000	mA
	O1	0,00	m
	O2	100,00	m
	Tau	30,000	s
QUEDA PARA CONTROLE	Min	6,00	m
	Max	655,35	m
	Constante de tempo libragem	120,00	s
	Forçando valor	20,00	m
	Valor calculado	20,00	m
	Valor para controle	20,00	m

Fonte: De autoria própria.

Figura 13 – Tela de parametrização das medições analógicas do distribuidor e suas válvulas

Fonte: De autoria própria.

Figura 14 – Tela de parametrização das referências de velocidade, potência, abertura e parada rápida da unidade geradora.

Fonte: De autoria própria.

5 ANÁLISE COMPARATIVA DAS TELAS

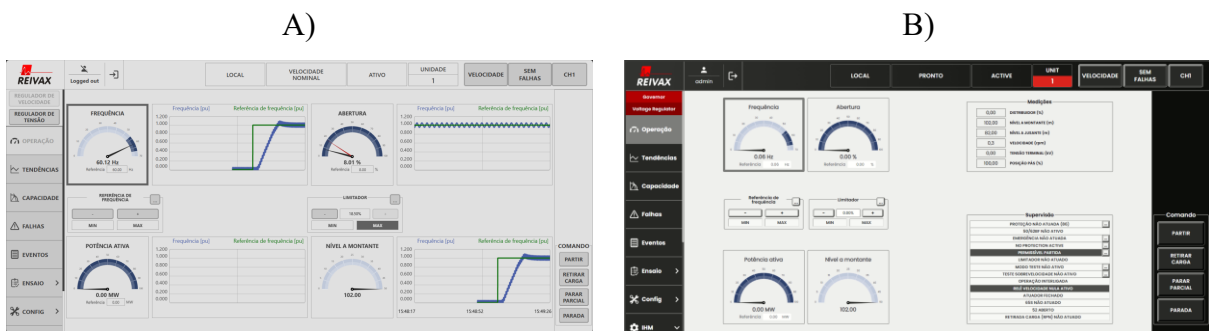
Esta seção apresenta uma comparação entre as telas existentes no projeto atual e as telas desenvolvidas nesse trabalho, sob o julgamento das referências (normas, livros e white papers) citadas anteriormente.

5.1 TELA DE OPERAÇÃO

Neste subcapítulo, compara-se a tela de operação desenvolvida no protótipo com a sua versão correspondente no projeto atual da REIVAX.

A Figura 15 evidencia o aprimoramento na apresentação de dados obtido com a inclusão das tendências diretamente na tela de operação. Com esse novo recurso, o operador pode analisar o comportamento da variável ao longo do tempo, em vez de visualizar apenas seu valor instantâneo, como ocorre na interface atual. Outra melhoria, que se aplica às demais telas, é a padronização de cores. Nessa nova padronização, é possível identificar de forma imediata os diferentes tipos de objeto, como botões disponíveis para clique, botões indisponíveis e indicadores de estado do regulador.

Figura 15 – Comparativo da tela de operação: A) protótipo desenvolvido, B) interface atual



Fonte: De autoria própria.

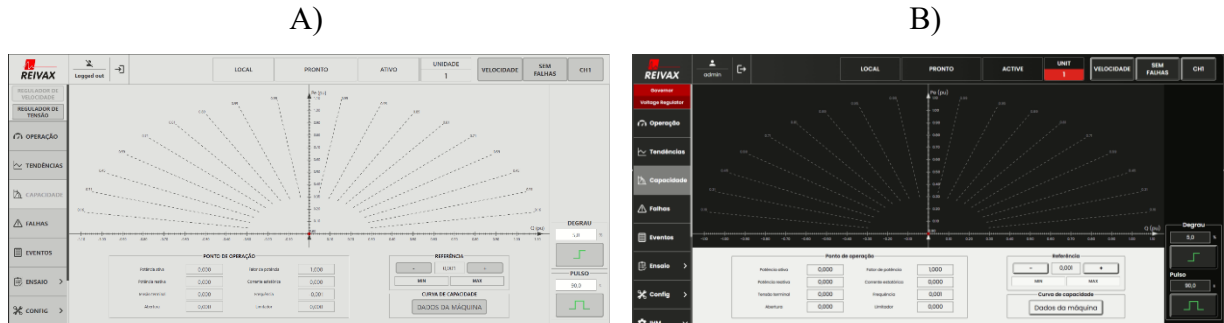
5.2 TELA DA CURVA DE CAPACIDADE

Novamente a padronização visual aplicada na interface facilita de forma imediata a percepção de cada objeto presente em tela. Diferentemente da versão anterior, que apresentava estilos inconsistentes, todos os botões agora seguem um design único e previsível, o que torna a interface mais intuitiva e reduz o tempo de aprendizado do operador.

A aplicação da paleta de cores, definida no Guia de Estilo (Quadro 2), foi crucial para a clareza da informação. Foi estabelecida uma distinção visual clara entre os campos de inserção de valores (fundo branco) e os campos de medição (fundo transparente, isto é, possuem a mesma cor de fundo de todas as telas, #E0E0E0) enquanto na versão anterior, os quadros de inserção de valores (degrau e pulso) possuem fundo escuro, o que não segue o padrão adotado até mesmo por essa versão em outras telas que é utilizar o fundo branco. Essa padronização permite que o operador identifique instantaneamente quais áreas são interativas, minimizando a possibilidade de erros. Finalmente, a escolha de um fundo de tela neutro serve

para reduzir a fadiga visual e garantir que os dados e alarmes importantes tenham o máximo de destaque, um princípio fundamental para a operação segura em longos períodos.

Figura 16 – Comparativo da tela de capacidade: A) protótipo desenvolvido, B) interface atual



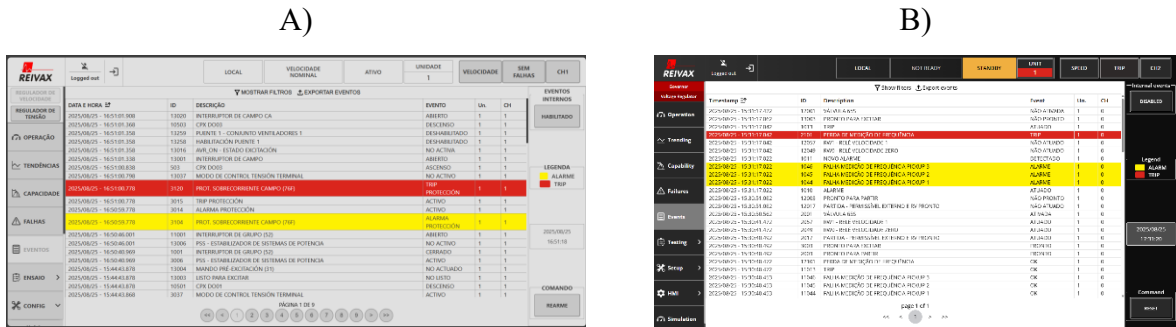
Fonte: De autoria própria.

5.3 TELA DE EVENTOS E DE FALHAS

De forma análoga às telas anteriores, a interface da nova tela de eventos (Figura 17) e da nova tela de falhas (Figura 18) se beneficiam da padronização geral da interface, com a aplicação do Guia de Estilo (Quadro 2) no fundo de tela, nos objetos de interação e nas cores das mensagens de alarme e TRIP, garantindo consistência e reduzindo a carga cognitiva do operador.

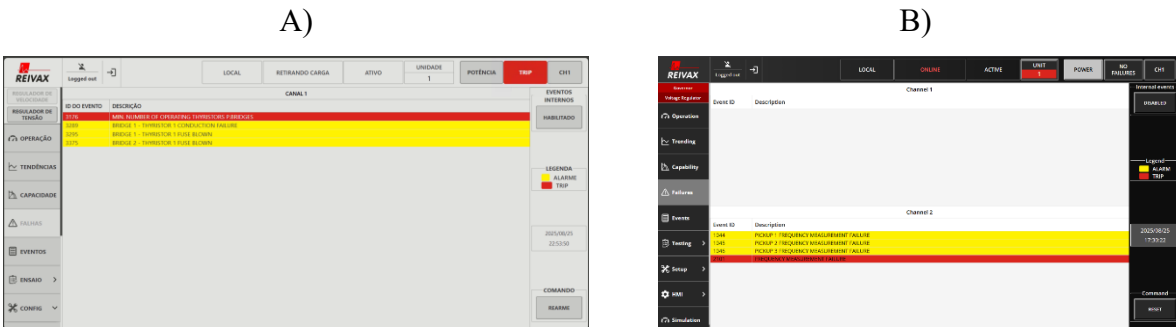
As mudanças nessas telas foram menores, se comparadas com às anteriores, entretanto vale ressaltar que os botões de troca de página da tela de eventos agora também seguem os padrões de botão pressionado e botão disponível para clique descritas na paleta de cores.

Figura 17 – Comparativo da tela de eventos com falhas leves e críticas: A) protótipo desenvolvido, B) interface atual



Fonte: De autoria própria.

Figura 18 – Comparativo da tela de falhas: A) protótipo desenvolvido, B) interface atual



Fonte: De autoria própria.

5.4 TELAS DE ENSAIOS

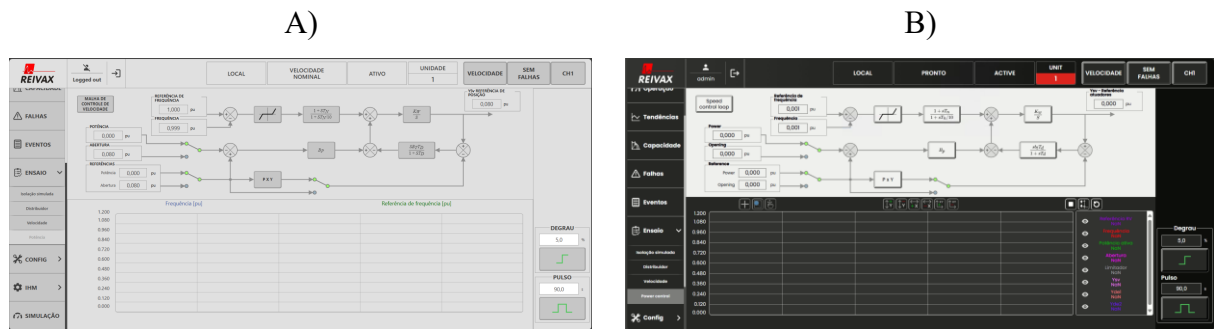
A versão anterior (itens ‘B’ da Figura 19 e Figura 20) apresentava uma inconsistência significativa nos elementos interativos da tela, misturando os botões já utilizados (os botões da aba de Comando) com botões do tipo switch (liga/desliga) e uma terceira opção, também com estilização diferente, que são os botões onde são inseridos os parâmetros de controle (ganho proporcional, integral, dentre outros). Agora, na versão do protótipo, todos os botões são padronizados, facilitando o trabalho importante do operador da usina que consegue rapidamente identificar o que são botões e o que são apenas elementos de informação.

Figura 19 – Comparativo da tela de ensaio do distribuidor: A) protótipo desenvolvido, B) interface atual



Fonte: De autoria própria.

Figura 20 – Comparativo da tela de ensaio de potência e velocidade: A) protótipo desenvolvido, B) interface atual



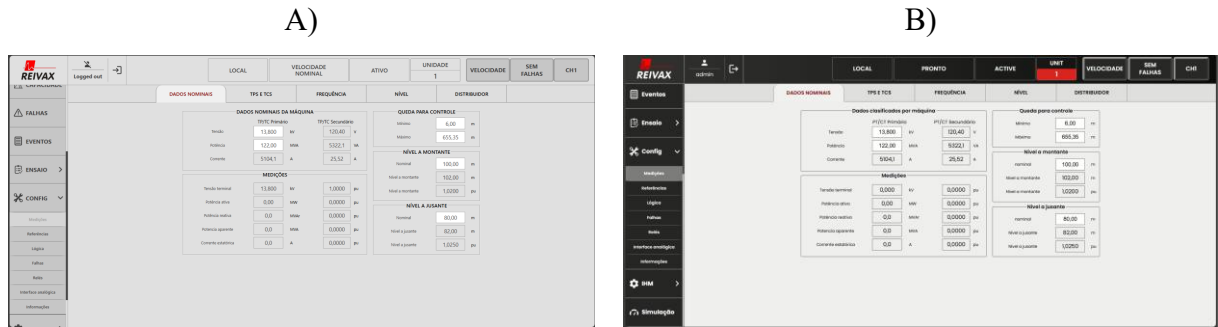
Fonte: De autoria própria.

5.5 TELAS DE CONFIGURAÇÕES/PARAMETRIZAÇÕES GERAIS

De forma semelhante aos subcapítulos anteriores, a nova interface (itens A) da Figura 21 à Figura 26) permanece com a padronização adotada pelo guia de estilos, como também estabelece uma “hierarquia de informação” através do uso do “peso” das fontes adotado no capítulo 4.1.2.

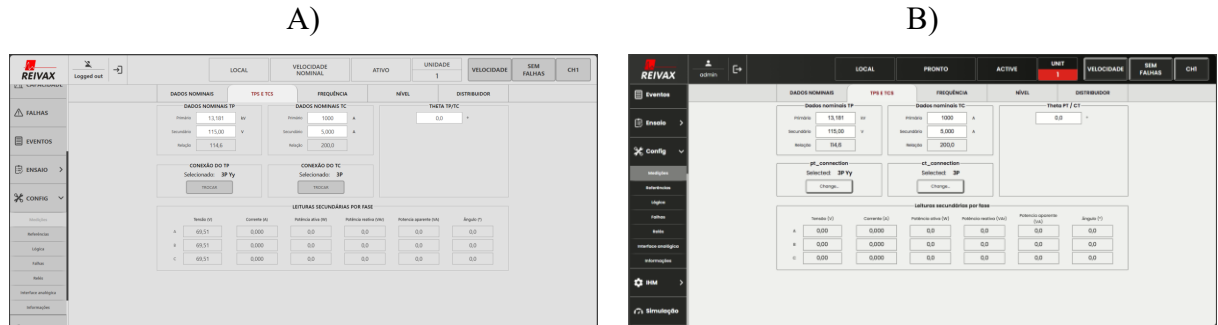
Os botões do tipo switch foram substituídos pelos botões com a estilização padrão adotada. De forma geral, essas telas não tiveram tantas diferenças, exceto pela padronização de todos os objetos.

Figura 21 – Comparativo da tela de parametrização dos dados nominais: A) protótipo desenvolvido, B) interface atual



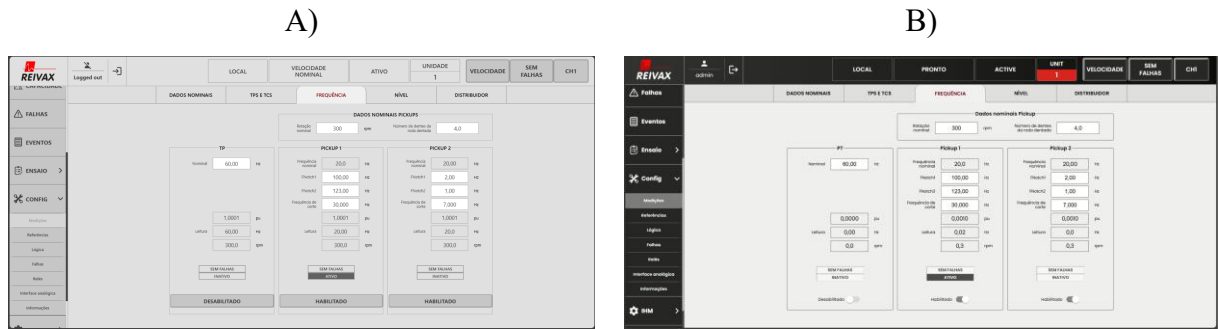
Fonte: De autoria própria.

Figura 22 – Comparativo da tela de parametrização dos TPs e TCs: A) protótipo desenvolvido, B) interface atual



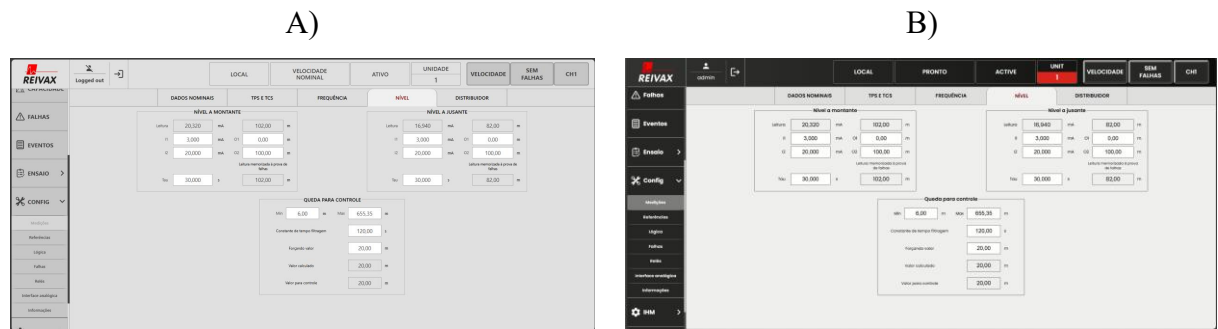
Fonte: De autoria própria.

Figura 23 – Comparativo da tela de parametrização dos medidores de frequência: A) protótipo desenvolvido, B) interface atual



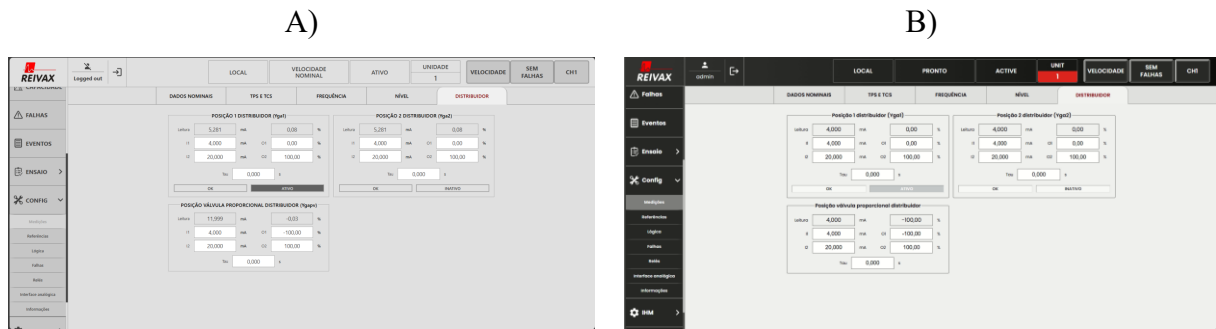
Fonte: De autoria própria.

Figura 24 – Comparativo da tela de parametrização dos medidores de nível: A) protótipo desenvolvido, B) interface atual



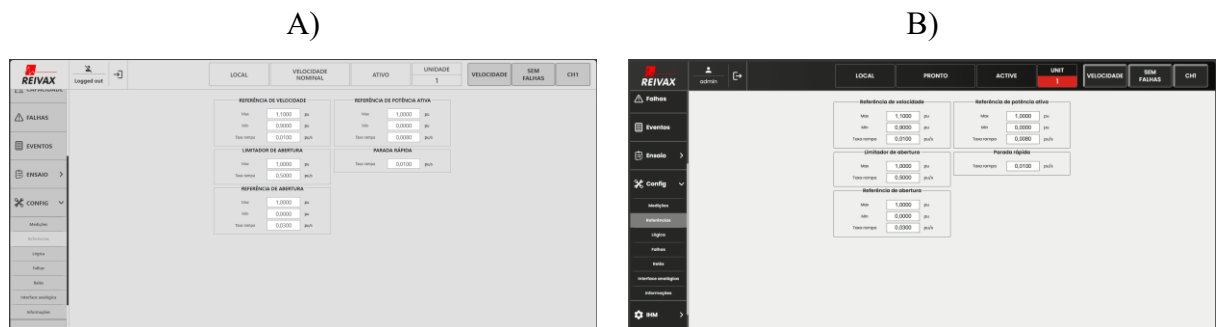
Fonte: De autoria própria.

Figura 25 – Comparativo da tela de parametrização dos medidores do distribuidor: A) protótipo desenvolvido, B) interface atual



Fonte: De autoria própria.

Figura 26 – Comparativo da tela de parametrização das referências do regulador: A) protótipo desenvolvido, B) interface atual



Fonte: De autoria própria.

6 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo a reformulação de algumas das telas da IHM do sistema em desenvolvimento, aplicando princípios de alta performance e um guia de estilo para aprimorar a usabilidade, a segurança e a consciência situacional do operador. Ao final da análise comparativa entre as interfaces do protótipo e do sistema atual, conclui-se que os objetivos propostos foram atingidos, resultando em um sistema mais seguro, intuitivo, eficiente e padronizado.

A análise demonstrou que a transição para uma abordagem padronizada teve grande impacto nas telas desenvolvidas neste projeto. A consistência na estilização de todos os objetos listados na paleta de cores, a clareza na apresentação de dados, a introdução de tendências junto dos “gauges” da tela de operação, todas essas mudanças reduzem a carga cognitiva e minimizam a probabilidade de erro operacional.

Uma das limitações deste projeto foi a não realização de testes de usabilidade quantitativos com os operadores. Esses testes poderiam fornecer métricas de desempenho, como a redução no tempo de execução de tarefas, para complementar a análise qualitativa apresentada nesse documento.

Diante dos resultados positivos, recomenda-se a adoção do guia de estilo desse trabalho no produto que está sendo atualmente desenvolvido pela empresa. Esse guia de estilos é dinâmico, podendo ter suas cores alteradas, novas regras serem inseridas, mas que sempre sejam mantidos os princípios da IHM de alta performance.

Para trabalhos futuros, sugere-se:

- Condução dos testes de usabilidade para validação quantitativa, com os colegas do SERVICE, por exemplo;
- A expansão dessas regras também para o regulador de tensão (o trabalho teve mais foco nas telas do regulador de velocidade), para os projetos de automação e unidade hidráulica onde é possível utilizar também padronização de cores e de ícones dos equipamentos (bombas, motores, válvulas, acumuladores, dentre outros).

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 9241-11**: Ergonomia da interação humano-sistema - Parte 11: Usabilidade: Definições e conceitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.
- BASTOS, Rômulo da Costa Brazil. **Interfaces homem-máquina de alta performance**: uma análise do padrão IEC 63303. 2021. 56 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2021.
- HEALEY, Christopher G.; ENNS, James T. Large Datasets at a Glance: Combining Textures and Colors in Scientific Visualization. **IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics**, v. 5, n. 2, p. 145-167, 1999.
- HOLLIFIELD, Bill et al. **The High Performance HMI Handbook**: A Comprehensive Guide to Designing, Implementing and Maintaining Effective HMIs for Industrial Plant Operations. Houston, TX: PAS, 2008.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 11064-1**: Ergonomic design of control centres — Part 1: Principles for the design of control centres. Geneva: ISO, 2000.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 9241-110**: Ergonomics of human-system interaction — Part 110: Interaction principles. Geneva: ISO, 2020.
- INTERNATIONAL SOCIETY OF AUTOMATION. **ANSI/ISA-101.01-2015**: Human Machine Interfaces for Process Automation Systems. Research Triangle Park, NC: ISA, 2015.
- REIS, Daniel Evangelista dos; CARVALHO, Pedro Henrique Salgado; VIEIRA, Thiago Wendel Sousa. **IHM's de alto desempenho visual baseadas na norma ISA 101.1**. Belo Horizonte: Centro Universitário UNA, 2024.
- RODRIGUES, Lucas Costa Ximenes. **Desenvolvimento de sistema SCADA baseado no padrão de IHM de alta performance aplicado à subestação de geração eólica**. 2022. 72 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022.
- SILVA, Ana Carolina. **Redução da Carga Cognitiva em Interfaces para Operadores de Manufatura**. 2024. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/387501541_Cognitive_Load_Reduction_Techniques_in_User_Interface_Design_for_Manufacturing_Operators. Acesso em: 20 abr. 2025.
- VIEIRA, Leonardo Lourenço. **Desenvolvimento de interfaces homem-máquina de alta performance**. 2018. 62 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018.
- ROCKWELL AUTOMATION. **High Performance HMIs for Process Control Systems**. [S.l.]: Rockwell Automation, 2022. White Paper. Disponível em:

https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/wp/proces-wp023_-en-p.pdf. Acesso em: 25 abr. 2025.