



INSTITUTO FEDERAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO

Campus Garanhuns

Bacharelado em Engenharia Elétrica

EDUARDO FERREIRA DA SILVA

**AUTOMAÇÃO DA MODELAGEM DE DISPOSITIVOS ELETRÔNICOS
INTELIGENTES (IEDS) SEL NO *ENGINEERING BASE PTD*: FUNDAMENTOS
TÉCNICOS E PROPOSTA DE PADRONIZAÇÃO**

Garanhuns - PE

2026

EDUARDO FERREIRA DA SILVA

**AUTOMAÇÃO DA MODELAGEM DE DISPOSITIVOS ELETRÔNICOS
INTELIGENTES (IEDS) SEL NO *ENGINEERING BASE PTD*: FUNDAMENTOS
TÉCNICOS E PROPOSTA DE PADRONIZAÇÃO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Coordenação do Curso Superior Bacharelado
em Engenharia Elétrica do Instituto Federal de
Ciência e Tecnologia de Pernambuco, como
requisito para obtenção do título de Bacharel
em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Esp. Manoel Alves Cordeiro
Neto

Garanhuns - PE

2026

S586a

Silva, Eduardo Ferreira da

Automação da modelagem de dispositivos eletrônicos inteligentes (IEDS) sel no engineering base PTD: fundamentos técnicos e proposta de padronização / Eduardo Ferreira da Silva ; orientador Manoel Alves Cordeiro Neto, 2026.

77f. : il.

Orientador: Manoel Alves Cordeiro Neto.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Instituto Federal de Pernambuco. Pró-Reitoria de Ensino. Diretoria de Ensino. Campus Garanhuns. Coordenação do Curso Superior em Engenharia. Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica, 2026.

1. Energia elétrica - Brasil. 2. Sistemas de energia elétrica. 3. Dispositivos eletrônicos inteligentes. I. Título. II. Codeiro Neto, Manoel Alves (orientador). III. Instituto Federal de Pernambuco.

CDD

621.310981

CRB4/2267

Louise Machado Freire Dias –

EDUARDO FERREIRA DA SILVA

**AUTOMAÇÃO DA MODELAGEM DE DISPOSITIVOS ELETRÔNICOS
INTELIGENTES (IEDS) SEL NO *ENGINEERING BASE PTD*: FUNDAMENTOS
TÉCNICOS E PROPOSTA DE PADRONIZAÇÃO**

Trabalho aprovado. Garanhuns, 11 de fevereiro de 2026.

Prof. Esp. Manoel Alves Cordeiro Neto - IFPE (Orientador)

Prof. Dr. Diego Soares Lopes - IFPE (Avaliador Interno)

Prof. Me. Geronimo Barbosa Alexandre - IFPB (Avaliador Externo)

Garanhuns - PE

2026

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por me dar saúde, força e oportunidade de chegar até aqui. À minha família, pelo amor incondicional, e aos meus amigos, que tornaram essa caminhada mais leve com apoio e companheirismo.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela força, sabedoria e luz que me guiaram em todos os momentos desta jornada acadêmica. Sem Sua presença, nada disso seria possível. À minha família, pelo amor incondicional, apoio constante e paciência nos momentos de dificuldade. Vocês foram meu alicerce e minha motivação para seguir em frente. Ao meu professor orientador, pela dedicação, orientação e incentivo durante todo o processo de construção deste trabalho. Sua experiência e conselhos foram fundamentais para o desenvolvimento desta pesquisa. E aos meus amigos, por todo apoio e motivação.

*“Os sábios falam porque têm algo a dizer.
Os tontos falam porque precisam dizer algo.”*

Platão

RESUMO

O presente Trabalho de Conclusão de Curso insere-se no contexto da Quarta Revolução Industrial e da digitalização dos projetos de sistemas elétricos de potência, com foco na plataforma *Engineering Base PTD* (EB) da AUCOTEC, uma ferramenta centrada em dados que integra todas as fases do ciclo de vida de plantas de transmissão e distribuição. Os relés de proteção digital, classificados como Dispositivos Eletrônicos Inteligentes (IEDs), são componentes críticos em projetos de Segurança, Proteção, Controle e Supervisão (SPCS). Atualmente, a modelagem desses dispositivos da fabricante *Schweitzer Engineering Laboratories* (SEL) no *Engineering Base* é realizada de forma manual, o que gera despadronização dos modelos criados, elevado tempo de execução e maior risco de erros. O objetivo geral deste trabalho foi desenvolver uma aplicação (macro) no *Engineering Base PTD* capaz de realizar a modelagem automática de relés de proteção SEL a partir da inserção do part number do dispositivo, promovendo agilidade, confiabilidade e padronização. Para alcançar esse objetivo, foram realizados os seguintes objetivos específicos: compreender o estado da arte dos relés de proteção digital; mapear os dados técnicos disponíveis no site oficial da SEL; catalogar todos os modelos de relés de proteção oferecidos pela fabricante; registrar as variações de part number correspondentes às diferentes configurações de entradas e saídas; desenvolver a macro para automação da modelagem no ambiente *Engineering Base*. Ao final, foi realizada uma análise comparativa entre o processo manual tradicional e o processo automatizado proposto, avaliando parâmetros como tempo de modelagem, redução de erros manuais e nível de padronização alcançado. Os resultados demonstram que a solução desenvolvida reduz o tempo de modelagem comumente em torno de 1 hora para em torno de 23 segundos, elimina inconsistências entre projetos e minimiza erros humanos, contribuindo para maior eficiência, rastreabilidade e qualidade nos projetos de SPCS realizados na plataforma *Engineering Base PTD*.

Palavras-chave: Relés de proteção digital, IEDs, *Schweitzer Engineering Laboratories* (SEL), *Engineering Base PTD*, automação de modelagem, padronização, macro.

ABSTRACT

This Final Course Project is situated within the context of the Fourth Industrial Revolution and the digitalization of power system projects, focusing on the Engineering Base PTD (EB) platform developed by AUCOTEC—a data-centric tool that integrates all phases of the lifecycle of transmission and distribution plants. Digital protection relays, classified as Intelligent Electronic Devices (IEDs), are critical components in Safety, Protection, Control, and Supervision (SPCS) projects. Currently, the modeling of these devices from the manufacturer Schweitzer Engineering Laboratories (SEL) in Engineering Base is performed manually, resulting in lack of standardization among created models, extended execution time, and increased risk of errors. The general objective of this work was to develop an application (macro) in Engineering Base PTD capable of automatically modeling SEL protection relays based on the input of the device's part number, thereby promoting agility, reliability, and standardization. To achieve this objective, the following specific goals were pursued: understanding the state of the art in digital protection relays; mapping the technical data available on SEL's official website; cataloging all protection relay models offered by the manufacturer; recording the part number variations corresponding to different input and output configurations; and developing the macro for automated modeling in the Engineering Base environment. Finally, a comparative analysis was conducted between the traditional manual process and the proposed automated process, evaluating parameters such as modeling time, reduction of manual errors, and the level of standardization achieved. The results demonstrate that the developed solution reduces the modeling time, commonly around 1 hour, to around 23 seconds, eliminates inconsistencies between projects, and minimizes human error, contributing to greater efficiency, traceability, and quality in SPCS projects carried out on the Engineering Base PTD platform.

Keywords: Digital protection relays, IEDs, Schweitzer Engineering Laboratories (SEL), Engineering Base PTD, modeling automation, standardization, macro.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: zonas de proteção de um sistema de potência.....	19
Figura 2: visão geral funcional do relé digital SEL-387E.....	24
Figura 3: visão geral funcional do relé digital SEL-300G.....	26
Figura 4: visão geral funcional do relé digital SEL-710-5.....	29
Figura 5: visão geral funcional do relé digital SEL-351S.....	32
Figura 6: visão geral funcional do relé digital SEL-787L.....	34
Figura 7: visão geral funcional do relé digital SEL-487E.....	37
Figura 8: visão geral funcional do relé digital SEL-487V.....	40
Figura 9: visão geral funcional do relé digital SEL-T401L.....	41
Figura 10: representação dos tipos de contato dos relés digitais Sel.....	46
Figura 11: representação do contato padrão dos relés digitais Sel.....	47
Figura 12: representação da saída híbrida dos relés digitais Sel.....	48
Figura 13: representação da saída de alta velocidade e interrupção dos relés digitais Sel.....	49
Figura 14: representação esquemática da codificação do Part Number.....	54
Figura 15: diagrama esquemático do funcionamento da macro.....	57
Figura 16: painel traseiro do relé digital SEL-400G.....	59
Figura 17: página da SEL para configuração do relé digital SEL-400G.....	60
Figura 18: relé digital SEL-400G modelado no Engineering Base.....	61
Figura 19: parte da página SEL com codificação da configuração do relé SEL-400G..	61
Figura 20 : interface de atributos do sistema para os componentes padrões do módulo A100 do modelo SEL-400G.....	62
Figura 21 : interface da macro.....	63
Figura 22 : visão geral da modelagem do dispositivo do modelo SEL-400G com Part Number 0400G0X2X11B9XXH8244484.....	65
Figura 23 : gráfico sobre ausência de informações nos atributos dos relés: Ausência de informações nos atributos.....	68
Figura 24 : gráfico sobre ausência de informações nos atributos dos relés: Ausência de estruturas no relés.....	69
Figura 25 : gráfico sobre ausência de informações nos atributos dos relés: Alocação intuitiva de partes dos relés.....	69
Figura 26 : gráfico sobre ausência de informações nos atributos dos relés: Padrões na modelagem dos relés.....	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: funções do relé de proteção com código ANSI.....	20
Tabela 2: complementação das funções ANSI.....	21
Tabela 3: aplicações específicas da função 87.....	21
Tabela 4: padrões de arquitetura de rede e suas capacidades.....	51
Tabela 5: classificação dos relés digitais da SEL quanto a funcionalidade.....	58
Tabela 6: tempos de modelagem dos relés de modo manual.....	67
Tabela 7: tempos de modelagem dos relés com macro.....	67

LISTA DE ABREVIATURAS

ACI	<i>Alternate Current Input</i> (Entrada de Corrente Alternada)
AFD	<i>Arc Flash Detector</i> (Detector de Arco Elétrico)
AFDI	<i>Arc Flash Detection Input</i> (Entrada de Detecção de Arco Elétrico)
ANSI	<i>American National Standards Institute</i> (Instituto Nacional Americano de Padronização)
AO	<i>Analog Output</i> (Saída Analógica)
AST	<i>Arc Sense Technology</i> (Tecnologia de Detecção de Arco)
AVI	<i>Alternate Voltage Input</i> (Entrada de Tensão Alternada)
BI	<i>Binary Input</i> (Entrada Binária)
BO	<i>Binary Output</i> (Saída Binária)
BOM	<i>Bill of Materials</i> (Lista de Materiais)
CAD	<i>Computer-Aided Design</i> (Projeto Assistido por Computador)
CC	Corrente Contínua
CLP	Controlador Lógico Programável
DI	<i>Digital Input</i> (Entrada Digital)
DO	<i>Digital Output</i> (Saída Digital)
EB	<i>Engineering Base</i>
E/S	Entrada e Saída
ETO	<i>Engineer To Order</i> (Engenharia Sob Encomenda)
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i> (Comissão Eletrotécnica Internacional)
IED	<i>Intelligent Electronic Device</i> (Dispositivo Eletrônico Inteligente)
IGBT	<i>Insulated Gate Bipolar Transistor</i> (Transistor Bipolar de Porta Isolada)

LEA	<i>Low-Energy Analog</i> (Analógico de Baixa Energia)
MAC	<i>Media Access Control</i> (Controle de Acesso ao Meio)
MOV	<i>Metal Oxide Varistor</i> (Varistor de Óxido Metálico)
NA	Normalmente Aberto
NF	Normalmente Fechado
OSI	<i>Open Systems Interconnection</i> (Interconexão de Sistemas Abertos)
PDM	<i>Product Data Management</i> (Gerenciamento de Dados do Produto)
PLM	<i>Product Lifecycle Management</i> (Gerenciamento do Ciclo de Vida do Produto)
PTD	<i>Power Transmission and Distribution</i> (Transmissão e Distribuição de Energia)
RTD	Detectores de Temperatura por Resistência
SCADA	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i> (Supervisão, Controle e Aquisição de Dados)
SEL	<i>Schweitzer Engineering Laboratories</i>
SPCS	Sistema de Proteção, Controle e Supervisão
SV	<i>Sampled Values</i> (Valores Amostrados)
TAN	<i>Total Area Network</i> (Rede de Área Total)
TC	Transformador de Corrente
TI	Tecnologia da Informação
TiDL	<i>Time-Domain Link</i> (Enlace no Domínio do Tempo)
TP	Transformador de Potencial
UCA	<i>Utility Communications Architecture</i> (Arquitetura de Comunicação para Concessionárias)
UTP	<i>Unshielded Twisted Pair</i> (Par Trançado Não Blindado)

VBA *Visual Basic for Applications* (Visual Basic para Aplicações)

Vca Tensão Alternada

Vcc Tensão Contínua

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Objetivos	16
1.2 Estrutura do trabalho	16
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1 Filosofia e princípios de proteção	18
2.2 Evolução e tipos dos relés	19
2.2.1 <i>Proteção de transformadores</i>	22
2.2.2 <i>Proteção de geradores</i>	24
2.2.3 <i>Proteção de motores elétricos</i>	27
2.2.4 <i>Proteção de distribuição</i>	30
2.2.5 <i>Proteção de linha de transmissão</i>	32
2.2.6 <i>Proteção de barramento</i>	35
2.2.7 <i>Proteção de capacitores</i>	37
2.3 Funções especiais	40
2.3.1 <i>Proteção no Domínio do Tempo</i>	40
2.3.2 <i>Controle de perdas</i>	42
2.3.3 <i>Sistemas secundários digitais</i>	42
2.3.4 <i>Controle de vão</i>	42
2.3.5 <i>Deteção de arco elétrico</i>	43
2.3.6 <i>Deteção de condutores abatidos</i>	43
2.3 IEDs e relés digitais SEL	44
2.4 Tipos de Portas em Relés de Proteção SEL	44
2.4.1 <i>Portas de Entrada Digital (DI)</i>	45
2.4.1.1 <i>Sensíveis a Nível (Level-Sensitive) e Optoisoladas</i>	45
2.4.1.2 <i>Configuração: Entradas Independentes vs. Comuns</i>	45
2.4.2 <i>Portas de Saída Digital / de Controle (DO)</i>	45
2.4.2.1 <i>Formas de Contato: Forma A, B e C</i>	46
2.4.2.2 <i>Saídas Eletromecânicas Padrão</i>	46
2.4.2.3 <i>Saídas Híbridas de Alta Capacidade de Interrupção</i>	47
2.4.2.4 <i>Saídas de Alta Velocidade e Alta Interrupção</i>	48
2.4.3 <i>Portas Analógicas e de Função Especializada</i>	49
2.4.3.1 <i>Entradas para RTD (Resistance Temperature Detector)</i>	49
2.4.3.2 <i>Entradas para Deteção de Arco Elétrico (AFD)</i>	50
2.4.3.3 <i>Outras Portas Analógicas</i>	50
2.5 <i>Entradas com proteção diferencial</i>	50
2.6 <i>Padrões Ethernet</i>	50
2.4.5.1 <i>Padrão 10BASEX (Ethernet)</i>	51
2.4.5.2 <i>Padrão 100BASEX (Fast Ethernet)</i>	51
2.4.5.3 <i>Padrão 1000BASEX (Giga Ethernet)</i>	52
2.5 Tecnologia TiDL (Time-Domain Link)	52
2.6 Tecnologia SV (Sampled Values)	53

2.7 Part number	53
2.8 Fundamentos de PDM/PLM e a Plataforma Engineering Base	54
2.9 VBA	55
3 METODOLOGIA	56
3.1 Definição dos requisitos para modelagem dos IEDs SEL	56
3.2 Estrutura de dados necessária	56
3.3 Estrutura da macro desenvolvida	57
3.4 Desenvolvimento da macro	57
3.5 Avaliação dos benefícios da utilização da macro na rotina do projetista	63
3.5.1 <i>Tempo de modelagem</i>	63
3.5.2 <i>Redução de imprecisões na modelagem manual</i>	64
3.5.3 <i>Nível de padronização obtido em relação ao processo tradicional</i>	64
4 RESULTADOS E ANÁLISE	65
4.1 Resultado da modelagem do dispositivo 0400G0X2X11B9XXH8244484	65
4.2 Benefícios da macro	66
4.2.1 <i>Tempo de modelagem</i>	66
4.2.2 <i>Redução de imprecisões na modelagem manual</i>	68
4.2.3 <i>Nível de padronização obtido em relação ao processo tradicional</i>	70
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	71

1 INTRODUÇÃO

Segundo Schwab (2016), a quarta revolução industrial, iniciada na virada do século com base na revolução digital, está transformando a sociedade. Este período é marcado por uma internet ubíqua, sensores mais potentes e baratos, e o avanço da inteligência artificial. Essas tecnologias, ao se integrarem, permitem a criação de "fábricas inteligentes" onde os sistemas físicos e virtuais cooperam de forma global e flexível. Diferente das revoluções anteriores, a atual é definida pela fusão entre os domínios físico, digital e biológico, resultando em uma transformação profunda e abrangente da economia e da sociedade.

Nesse contexto, AUCOTEC (2025) propõe uma plataforma centrada em dados, *Engineering Base Power Transmission and Distribution* (EB PTD), como uma solução para engenharia mais rápida e eficiente no âmbito dos projetos de transmissão e distribuição. Tal abordagem permite desde o planejamento preliminar até o acompanhamento contínuo de todas as etapas do ciclo de vida da planta, assegurando integração entre as disciplinas de engenharia, conformidade com padrões internacionais e redução de retrabalho. Assim, o sistema atua como um repositório confiável de informações, garantindo maior controle, rastreabilidade e assertividade nas tomadas de decisão ao longo de toda a operação.

Conforme destaca Duarte (2018), o relé de proteção constitui um elemento essencial tanto no projeto quanto na operação de sistemas de transmissão e distribuição. Sua relevância decorre da capacidade de detectar condições anormais e atuar na mitigação dos efeitos das falhas elétricas, contribuindo para a segurança e a continuidade do funcionamento do sistema.

Atualmente, os engenheiros que utilizam o *Engineering Base PTD* têm modelado os relés de proteção digital de forma manual, conforme há a necessidade de utilização desses dispositivos dentro dos projetos de SPCS (Segurança, Proteção, Controle e Supervisão). Como resultado desse processo de modelagem existem uma despadronização dos dispositivos criados, um tempo elevado para a modelagem e uma exposição a erros no processo de modelagem.

Com a visão de solucionar essa problemática ocasionada pela modelagem manual dos relés proteção digitais no EB, este trabalho propõe o desenvolvimento

de uma macro que proporciona a modelagem dos relés de proteção digital do fabricante Schweitzer Engineering Laboratories (SEL).

1.1 Objetivos

Desenvolver uma aplicação para modelagem automática de relés de proteção do fabricante SEL a partir do part number do dispositivo.

Para o desenvolvimento e avaliação dessa aplicação foram necessários os seguintes objetivos específicos:

- Compreender o estado da arte relacionado a relés de proteção;
- Mapear os dados técnicos disponíveis no site do fabricante SEL;
- Catalogar todos os modelos de relés de proteção da SEL;
- Registrar todas as variações de *part number* associadas às diferentes configurações de entradas e saídas;
- Desenvolver uma macro capaz de receber o part number do relé SEL e realizar automaticamente sua modelagem no EB;
- Comparar os benefícios da solução desenvolvida com a modelagem manual, através do tempo de modelagem, níveis de erros manuais e padronização.

1.2 Estrutura do trabalho

O trabalho de conclusão de curso foi estruturado da seguinte forma:

- Capítulo 1: contextualização sobre o período da revolução industrial atual com ênfase em mostrar a importância do *Engineering Base* nesse contexto e o avanço gerado por esse software para os projetos e manutenção de sistemas de SPCS. E exposição dos objetivos do trabalho.
- Capítulo 2: fundamentação teórica acerca dos conceitos de proteção e das tipologias de relés digitais com descrição dos componentes de interface desse dispositivo e suas principais tecnologias. Definição de conceitos como *Part Number*, PDM (*Product Data Management*), PLM (*Product Lifecycle Management*) e apresentação sobre o *Engineering Base* e VBA (*Visual Basic for Applications*).
- Capítulo 3: definição dos requisitos necessários para modelagem dos relés digitais da SEL e da estrutura da macro a ser desenvolvida. Assim como a

definição da metodologia de avaliação dos benefícios da utilização da macro para a modelagem desses dispositivos se comparada a modelagem manual.

- Capítulo 4: resultados a respeito da catalogação das estruturas de interface físicas dos relés digitais e suas tipologias e do desenvolvimento da macro como resultado dessa. E avaliação dos benefícios da utilização da macro em comparação com a modelagem manual.
- Capítulo 5: considerações finais sobre a importância da macro no contexto atual e os seus benefícios.

Desta forma, estabelecidos o contexto ao qual este trabalho se encontra e os objetivos esperados para o desenvolvimento do mesmo. O capítulo seguinte irá abordar fundamentos teóricos a respeito dos relés e fundamentos técnicos a respeito dos relés digitais da SEL que foram necessários para o processo de desenvolvimento da macro de modelagem.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A presente fundamentação teórica tem por objetivo consolidar os principais conceitos relacionados à proteção de sistemas elétricos de potência, abordando desde a filosofia e os princípios fundamentais que norteiam a atuação dos sistemas de proteção até a evolução tecnológica dos relés eletromecânicos aos digitais. São discutidas as aplicações específicas de proteção em transformadores, geradores, motores, sistemas de distribuição, linhas de transmissão, barramentos e bancos de capacitores, bem como funções especiais associadas ao domínio do tempo, controle de perdas e detecção de eventos críticos. Além disso, são apresentados os IEDs e relés digitais da SEL, com detalhamento das arquiteturas de entrada e saída, tipos de portas, padrões de comunicação Ethernet e tecnologias modernas como TiDL e Sampled Values. Complementarmente, são tratados aspectos relacionados à identificação de equipamentos (part number), aos fundamentos de PDM/PLM integrados à plataforma Engineering Base e à utilização de VBA como ferramenta de automação, estabelecendo a base conceitual necessária para a compreensão das análises e aplicações desenvolvidas neste trabalho.

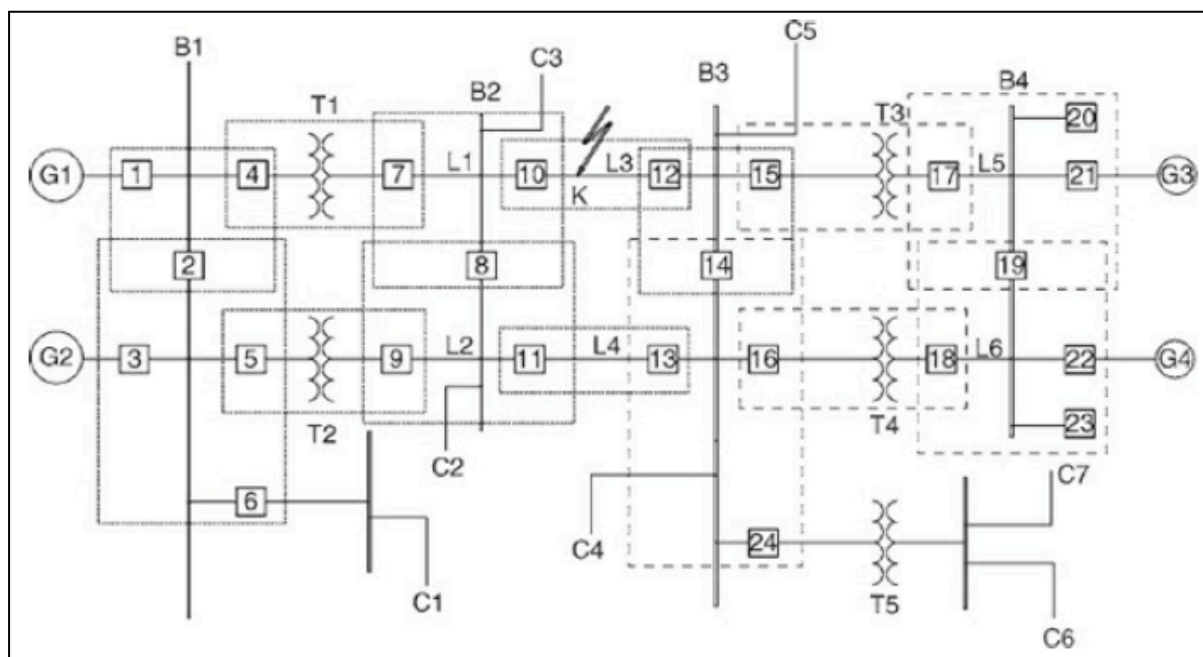
2.1 Filosofia e princípios de proteção

De acordo com Kindermann (2012), a filosofia da proteção tem como objetivo mitigar os efeitos provocados por distúrbios no sistema elétrico, de modo a reduzir a extensão do defeito, a probabilidade de propagação para outros equipamentos, o tempo de indisponibilidade, as perdas de produção e o descontentamento público. Segundo Duarte (2018), o relé de proteção é o dispositivo responsável pela detecção de falhas e anomalias no funcionamento do sistema elétrico, em conjunto com TC's e TP's, assim como pela remoção, em conjunto com o disjuntor, de forma seletiva sobre qualquer elemento do sistema elétrico submetido a essas condições.

Mamede Filho e Mamede (2013) define seletividade como a característica essencial de um sistema de proteção para isolar seletivamente apenas a parte do sistema sob defeito. Para atingi-la, as proteções são organizadas em zonas. A proteção de primeira linha é a principal responsável por atuar em sua zona específica em um tempo pré-ajustado. Já a proteção de segunda linha ou de retaguarda entra em operação apenas em caso de falha da primeira, assegurando a

desconexão do defeito. Este arranjo sequencial, ilustrado com o exemplo de um defeito no ponto K visto na figura 1, evita o desligamento desnecessário de grandes partes do sistema, embora sucessivas atuações de retaguarda possam exigir medidas como o alívio de carga para evitar o colapso por sobrecarga. O planejamento dessa atuação coordenada é objeto do estudo de coordenação de proteção.

Figura 1: zonas de proteção de um sistema de potência.



Fonte: Mamede Filho e Mamede (2013).

2.2 Evolução e tipos dos relés

Quanto à construção, Mamede Filho e Mamede (2013) classifica os relés de proteção em três tipos principais: (1) os relés eletromecânicos, que operam com base em princípios eletromagnéticos e componentes mecânicos; (2) os relés estáticos, que utilizam componentes eletrônicos analógicos, como transistores e circuitos integrados, sem partes móveis; e (3) os relés digitais, cujo funcionamento é controlado por um microprocessador que executa algoritmos de proteção.

Para compreender a predominância da tecnologia atual, é útil analisar sua trajetória evolutiva. Mamede Filho e Mamede (2013) traça essa história dos relés de proteção, com início pelos dispositivos eletromecânicos, notáveis por sua robustez e longa vida útil. Uma tentativa de transição ocorreu com o advento dos relés

estáticos, os quais, contudo, não obtiveram ampla adoção no mercado. Essa resistência foi atribuída não só à consolidação da tecnologia anterior, mas também à sensibilidade dos componentes eletrônicos às elevadas temperaturas ambientes. A verdadeira revolução deu-se com o surgimento dos relés digitais na década de 1980. Embora sua introdução também tenha sido marcada por cautela, herdada das dificuldades dos estáticos, eles se firmaram como o padrão atual, oferecendo vastas funcionalidades em troca de um novo paradigma: a vida útil ditada pela obsolescência tecnológica, e não pelo desgaste físico.

Conforme Mamede Filho e Mamede (2013), a detecção de um defeito geralmente ocorre pela aplicação de um dentre os seguintes critérios: verificação de elevação da corrente, elevação ou redução da tensão, inversão do sentido da corrente, alteração da impedância do sistema, ou pela comparação de módulo e ângulo de fase entre a entrada e a saída do sistema.

Dessa forma as funcionalidades dos relés de proteção podem ser organizadas com base na codificação funcional padronizada pela norma ANSI (*American National Standards Institute*), como apresentado por Duarte (2018). A tabela 1 demonstra essa classificação.

Tabela 1: funções do relé de proteção com código ANSI.

Código da Função	Função do relé
2	Relé de partida ou fechamento temporizado
21	Relé de Distância
25	Relé de Verificação de Sincronismo
27	Relé de Subtensão
49	Relé de Temperatura
50	Relé de Sobrecorrente Instantâneo
51	Relé de Sobrecorrente Temporizado
59	Relé de Sobretenção
63	Relé de Pressão de nível ou de fluxo, de líquido ou gás
67	Relé direcional de Sobrecorrente
68	Relé de Bloqueio de Oscilação de Potência
78	Relé de Sincronismo
81	Relé de Frequência
86	Relé de Bloqueio
87	Relé Diferencial

Fonte: adaptado de Duarte (2018).

Além dessas funções especificadas pela norma ANSI existem algumas complementações específicas da qual a SEL utiliza em seus relés digitais que estão organizados na tabela 2.

Tabela 2: complementação das funções ANSI.

50N	Sobrecorrente instantâneo de neutro
51N	Sobrecorrente temporizado de neutro (tempo definido ou curvas inversas)
50G	Sobrecorrente instantâneo de terra (comumente chamado 50GS)
51G	Sobrecorrente temporizado de terra (comumente chamado 51GS e com tempo definido ou curvas inversas)
50BF	Relé de proteção contra falha de disjuntor (também chamado de 50/62 BF)
51Q	Relé de sobrecorrente temporizado de sequência negativa com tempo definido ou curvas inversas
51V	Relé de sobrecorrente com restrição de tensão
51C	Relé de sobrecorrente com controle de torque
50PAF	Sobrecorrente de fase instantânea de alta velocidade para detecção de arco voltaico
50NAF	Sobrecorrente de neutro instantânea de alta velocidade para detecção de arco voltaico
59Q	Selé de sobretensão de sequência negativa
59N	Relé de sobretensão residual ou sobretensão de neutro (também chamado de 64G) , calculado ou TP em delta aberto
64	Relé de proteção de terra pode ser por corrente ou por tensão. Os diagramas unifilares devem indicar se este elemento é alimentado por TC ou por TP, para que se possa definir corretamente. Se for alimentado por TC, também pode ser utilizado como uma unidade 51 ou 61. Se for alimentado por TP, pode-se utilizar uma unidade 59N ou 64G. A função 64 também pode ser encontrada como proteção de carcaça, massa-cuba ou tanque, sendo aplicada em transformadores de força até 5 MVA.
67N	Relé de sobrecorrente direcional de neutro (instantâneo ou temporizado)
67G	Relé de sobrecorrente direcional de terra (instantâneo ou temporizado)
67Q	Relé de sobrecorrente direcional de sequência negativa
78	Salto vetorial (<i>Vector Shift</i>)

Fonte: adaptado de *Schweitzer Engineering Laboratories* (2025a).

Outra especificação dentro dos padrões ANSI está associada com a função diferencial (87), a qual pode ter diversas aplicações pontuais que são descritas pela ANSI 87. Essas funções foram organizadas na tabela 3.

Tabela 3: aplicações específicas da função 87.

87T	Diferencial de transformador (pode ter 2 ou 3 enrolamentos)
87N	Diferencial de neutro

REF	Falta restrita à terra
87Q	Diferencial de sequência negativa (aplicado para detecção de faltas entre espiras em transformadores)
87G	Diferencial de geradores
87GT	Proteção diferencial do grupo gerador-transformador
87SP	Proteção diferencial de fase dividida de geradores
87V	Diferencial de tensão de fase
87VN	Diferencial de tensão de neutro
87B	Diferencial de barras. Pode ser de alta, média ou baixa impedância
87M	Diferencial de motores - Neste caso pode ser do tipo percentual ou do tipo autobalanceado.

Fonte: *Schweitzer Engineering Laboratories (2025a)* (conforme norma ANSI 87).

Os relés de proteção são aplicados de forma específica conforme o equipamento elétrico, a natureza das falhas mais recorrentes e as exigências operativas de cada instalação (Mamede Filho; Mamede, 2013).

2.2.1 Proteção de transformadores

Com base na norma ANSI e na evolução dos sistemas digitais, a proteção de um transformador de potência consolida-se em uma arquitetura multifuncional, cuja abrangência é determinada pela criticidade do equipamento e pelo nível de confiabilidade desejado. Esta proteção pode ser categorizada em funções que guardam a integridade física do transformador e funções que o protegem de anomalias externas da rede (Mamede Filho; Mamede, 2013).

As funções intrínsecas constituem a defesa primária, incluindo: a proteção diferencial de fase e de sequência negativa (87T), essencial contra curtos-circuitos internos, inclusive falhas espira-espira; o sistema de vigilância térmica, com o modelo térmico configurável (49RMS), o controle de temperatura (23) e a proteção térmica (26); e os dispositivos que monitoram a condição do óleo isolante e do sistema de arrefecimento, como o relé de Buchholz (63), a proteção contra sobrepressão de gás (63A) e os detectores de nível de óleo (71). Especificamente para o comutador de derivação sob carga (OLTC), aplicam-se proteções dedicadas como o monitoramento de gás (63C), de sobrepressão (63A/C), de nível de óleo (71C) e de fluxo de óleo (80) (Mamede Filho; Mamede, 2013).

Paralelamente, as funções de proteção contra perturbações externas da rede formam uma barreira secundária e de backup, englobando: as proteções de sobrecorrente temporizada e instantânea de fase e de neutro (51, 51N, 50, 50N), inclusive a versão sensível para terra (51 NS) e a direcional para terra (51G); as proteções contra subtensão (27) e sobretensão (59); as proteções de frequência (81); a função de terra (64) e o regulador de tensão (90) (Mamede Filho; Mamede, 2013).

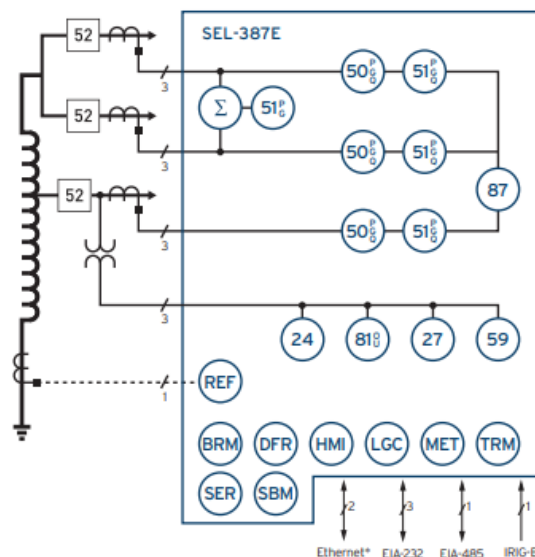
A figura 1 (“*Functional Diagram*”) do *datasheet* do relé SEL-387E apresenta a arquitetura funcional integrada do equipamento, evidenciando a forma como os sinais de entrada de corrente e tensão são adquiridos, condicionados e processados por diferentes blocos internos. O diagrama mostra que o dispositivo incorpora funções clássicas de proteção elétrica identificadas por números ANSI, incluindo a proteção diferencial de corrente (87), a proteção de sobrecorrente instantânea (50) e temporizada (51) aplicáveis às medições de fase, neutro e sequência negativa (P, G e Q), bem como as proteções de subtensão (27), sobretensão (59), sobre e subfrequência (81O e 81U) e a proteção Volts por Hertz (24), essencial para a proteção do núcleo de transformadores contra sobreexcitação (*Schweitzer Engineering Laboratories, 2022*).

Além das funções de proteção, o diagrama funcional evidencia a integração de recursos avançados de medição, registro e automação. Destacam-se o sistema de medição de alta precisão (MET), o registrador de eventos sequenciais (SER) e a funcionalidade de relatórios de eventos (DFR), que permitem análise detalhada de faltas e distúrbios. O relé também dispõe de uma interface homem-máquina (HMI), que possibilita a operação local, bem como do ambiente de equações de controle SELogic® (LGC), responsável pela implementação de lógicas de automação e intertravamentos personalizados (*Schweitzer Engineering Laboratories, 2022*).

O diagrama apresenta ainda funções específicas de proteção e supervisão de ativos, como a proteção de falta à terra restrita (REF), o monitoramento do desgaste de disjuntores (BRM), o monitoramento da bateria da subestação (SBM) e o monitoramento térmico de transformadores (TRM). Essa composição funcional evidencia a convergência de múltiplas camadas de proteção, automação, medição e monitoramento em uma única plataforma inteligente, permitindo não apenas a atuação coordenada diante de faltas elétricas, mas também a supervisão contínua do estado dos principais ativos do sistema elétrico, resultando em maior

confiabilidade operacional e eficiência na gestão do sistema de proteção (Schweitzer Engineering Laboratories, 2022).

Figura 2: visão geral funcional do relé digital SEL-387E.



Fonte: Schweitzer Engineering Laboratories (2022).

2.2.2 Proteção de geradores

De acordo com a fundamentação de Mamede Filho e Mamede (2013), o esquema de proteção para geradores síncronos, dada sua criticidade e alta susceptibilidade a falhas, deve ser abrangente e pode ser categorizado em funções que protegem a integridade física da máquina (intrínsecas) e funções que a protegem de perturbações oriundas do sistema elétrico ao qual está conectada (externas).

As funções intrínsecas compreendem a defesa direta dos componentes do gerador, incluindo: a proteção diferencial do estator (87G) e contra defeitos entre espiras (61) para curtos-circuitos internos; as proteções de terra do estator (64G) e do rotor (64R); a proteção térmica (26) e por imagem térmica (49); e a proteção contra desequilíbrio de corrente (46) que salvaguarda o rotor de correntes de sequência negativa (Mamede Filho; Mamede, 2013).

Já as funções de proteção externa atuam contra anomalias operacionais e de sistema, englobando: as proteções contra subtensão (27), sobretensão (59), desequilíbrio de tensão (60), sub e sobrefrequência (81); os elementos direcionais de potência ativa (32P, para antimotorização) e reativa (32Q); a proteção contra perda de excitação (40/37) e de sincronismo (78); além das funções de

sobrecorrente de fase, neutro e terra (50, 50N, 51, 51N, 51G) que atuam como backup (Mamede Filho; Mamede, 2013).

A figura 2 (“SEL-300G *Functional Block Diagram*”), apresentada no *datasheet* do relé SEL-300G, ilustra a arquitetura funcional adotada para a proteção de geradores síncronos, evidenciando a organização das funções de proteção a partir do processamento das correntes e tensões de entrada. O diagrama mostra que o equipamento implementa dois caminhos principais de processamento das correntes: um caminho instantâneo, voltado à atuação de alta velocidade, e um caminho temporizado, dedicado às funções que exigem coordenação temporal e avaliação térmica (Schweitzer Engineering Laboratories, 2021).

No caminho instantâneo estão associadas às funções de proteção diferencial trifásica do estator (87) e diferencial de neutro (87N), bem como as proteções de sobrecorrente instantânea de fase, terra e sequência negativa (50P, 50G, 50N e 50Q). Essas funções garantem atuação rápida diante de faltas internas severas no gerador e em seus circuitos associados, minimizando danos eletromecânicos e térmicos ao equipamento (Schweitzer Engineering Laboratories, 2021).

O caminho temporizado contempla as proteções de sobrecorrente temporizada de fase, terra e neutro (51P, 51G e 51N), além das funções de sobrecorrente de sequência negativa (46) e sobrecarga térmica (49), fundamentais para a supervisão do aquecimento do rotor e do estator durante condições anormais de operação. Esse caminho também integra funções baseadas em tensão, frequência e potência, como a proteção Volts por Hertz (24), subtensão e sobretensão (27, 59 e 59N), sobre e subfrequência (81O e 81U), perda de potencial (60), potência direcional (32) e verificação de sincronismo (25), ampliando a abrangência da proteção do conjunto gerador-sistema (Schweitzer Engineering Laboratories, 2021).

O diagrama funcional evidencia ainda proteções específicas e críticas para geradores síncronos, como a proteção de perda de excitação (40), a proteção contra faltas à terra no campo (64F), a proteção de 100 % de aterramento do estator (64G) e a função de perda de sincronismo ou oscilação fora de passo (78). Essas funções reforçam a capacidade do relé em detectar condições eletromecânicas

2.2.3 Proteção de motores elétricos

Com base na fundamentação de Mamede Filho e Mamede (2013) para a proteção de motores elétricos, o esquema deve abranger funções que protegem a integridade física da máquina (intrínsecas) e funções que a protegem de perturbações da rede de alimentação (externas).

As funções intrínsecas constituem a defesa direta dos componentes do motor, incluindo: a proteção diferencial (87M) contra curtos-circuitos internos graves; a proteção térmica por imagem térmica (49) e por controle de temperatura (23, 26) contra sobreaquecimento; a proteção contra desbalanço de corrente (46) que salvaguarda o rotor; e as proteções específicas contra partida longa (48), monitoramento de mancal (38), perda de excitação (40) e do número de partidas por hora (66) (Mamede Filho; Mamede, 2013).

Já as funções de proteção externa atuam contra anomalias da rede e condições operacionais anormais, englobando: as proteções contra subtensão (27), sobretensão (59), deslocamento de neutro (59N) e sequência de fase de tensão (47); os elementos de sobrecorrente de fase e neutro (50, 50N, 51, 51N) que atuam como proteção geral e de backup; e as funções contra perda de carga (37), perda de sincronismo (78) e a proteção de distância (21) que pode ser aplicada como salvaguarda adicional (Mamede Filho; Mamede, 2013).

O relé SEL-710-5, conforme descrito em seu *datasheet*, implementa uma arquitetura integrada voltada à proteção, ao controle e ao monitoramento de motores elétricos, combinando funções intrínsecas ao equipamento protegido com funções associadas à supervisão da rede elétrica e ao controle operacional. O diagrama funcional evidencia que o dispositivo utiliza entradas analógicas de baixa energia (*Low Energy Analog – LEA*) para tensão e sensores de corrente do tipo bobina de *Rogowski* ou LPCT, permitindo medições seguras e de alta precisão, adequadas tanto para proteção quanto para monitoramento contínuo do motor (*Schweitzer Engineering Laboratories, 2025b*).

As funções intrínsecas ao motor concentram-se na preservação da integridade eletromecânica do equipamento. Destacam-se a proteção térmica avançada baseada em modelo matemático (49), incluindo supervisão térmica do rotor (49R) e do estator ou enrolamentos (49P), a detecção de falhas mecânicas

como barras quebradas no rotor (Broken Bar Detection – BBD), o monitoramento de mancais (38) e a proteção diferencial de corrente (87) para identificação rápida de faltas internas severas. Essas funções permitem identificar condições anormais que não se manifestam apenas por sobrecorrentes elevadas, ampliando a sensibilidade e a seletividade da proteção do motor (*Schweitzer Engineering Laboratories*, 2025b).

Paralelamente, o relé incorpora funções voltadas à proteção do sistema elétrico e à operação segura diante de distúrbios da rede. Entre essas funções estão as proteções de subtensão e sobretensão (27 e 59), desequilíbrio de corrente e sequência negativa (46), sequência de fase (47) e o conjunto completo de proteções de sobrecorrente instantânea e temporizada aplicáveis às medições de fase, neutro e terra (50P, 50N, 50G, 51, 51N e 51G). Essas proteções asseguram a coordenação com os dispositivos a montante e a jusante, além de evitar a operação do motor sob condições elétricas adversas (*Schweitzer Engineering Laboratories*, 2025b).

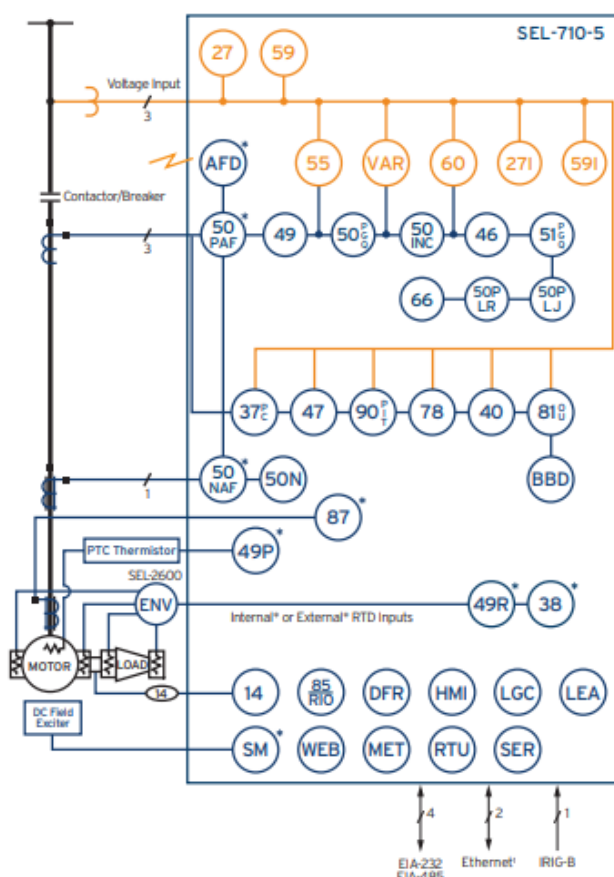
O esquema de proteção é coordenado por meio das equações de controle programáveis SELogic®, que permitem a customização das lógicas de atuação, alarmes e intertravamentos, bem como a integração com funções avançadas de controle de motores. O SEL-710-5 oferece recursos como controle de partida direta ou com tensão reduzida, controle de motores de duas velocidades, controle direto e reversão de rotação, proteção e controle de motores alimentados por inversores de frequência (VFD) e, opcionalmente, controle e proteção de motores síncronos. Essas funcionalidades ampliam o papel do relé para além da proteção, posicionando-o como um controlador dedicado de motores industriais (*Schweitzer Engineering Laboratories*, 2025b).

O *datasheet* também evidencia a integração de extensos recursos de registro, supervisão e monitoramento. O relé dispõe de registrador sequencial de eventos (SER), relatórios digitais de eventos, relatórios de partida de motores, estatísticas operacionais, perfis de carga e tendências de partidas, além de medição instantânea e monitoramento de ativos. Funções adicionais, como monitoramento do desgaste de disjuntores (BRM), proteção contra arco elétrico, monitoramento de

ativos e expansão de entradas e saídas, reforçam a capacidade do equipamento em aplicações industriais complexas (Schweitzer Engineering Laboratories, 2025b).

No que se refere à comunicação e interface, o SEL-710-5 incorpora servidor web, interface homem-máquina (HMI) no painel frontal com display LCD ou tela colorida sensível ao toque opcional, LEDs de sinalização programáveis e botões configuráveis. O relé suporta uma ampla gama de protocolos de comunicação industriais e de subestação, incluindo SEL ASCII, Modbus RTU e TCP/IP, DNP3 serial e LAN/WAN, IEC 61850 Edição 2, IEC 60870-5-103, EtherNet/IP, DeviceNet, MIRRORRED BITS®, além de recursos avançados de sincronismo temporal, como IRIG-B, SNTP e IEEE 1588-2008 (PTP). Essa combinação consolida a proteção, o controle, a automação e o monitoramento em uma única plataforma inteligente, adequada a ambientes industriais e sistemas elétricos modernos (Schweitzer Engineering Laboratories, 2025b).

Figura 4: visão geral funcional do relé digital SEL-710-5.



Fonte: Schweitzer Engineering Laboratories (2025b).

2.2.4 Proteção de distribuição

A proteção de sistemas de distribuição, como alimentadores, é centrada no princípio da seletividade, visando isolar seletivamente apenas o trecho em defeito para minimizar interrupções. O esquema fundamental baseia-se nas funções de sobrecorrente temporizada (51/51N) para coordenar a atuação com outros dispositivos a jusante, e de sobrecorrente instantânea (50/50N) para eliminar faltas severas próximas à subestação de forma rápida. Para garantir a continuidade do serviço, especialmente em faltas transitórias, o relé de religamento (79) atua para restabelecer automaticamente a energia. Adicionalmente, as proteções de sobretensão (59) e subtensão (27) monitoram a qualidade do fornecimento e ajudam a detectar condições anormais na rede (Mamede Filho; Mamede, 2013).

A figura 1 (“*Functional Diagram*”), apresentada no *datasheet* do relé SEL-351S, ilustra uma arquitetura integrada que consolida funções de proteção, controle, automação, medição e monitoramento em uma única plataforma destinada à proteção de alimentadores e ativos de subestações. O diagrama evidencia que o dispositivo organiza suas funções a partir do processamento coordenado de grandezas elétricas e lógicas internas, permitindo elevada flexibilidade operacional e seletividade na atuação das proteções (Schweitzer Engineering Laboratories, 2024).

No âmbito da proteção de corrente, o relé incorpora um conjunto abrangente de funções de sobrecorrente instantânea e temporizada aplicáveis às medições de fase, terra e sequência negativa (50P, 50G, 50Q, 51P, 51G e 51Q), bem como às medições de neutro (50N e 51N). Essas funções incluem ainda versões direcionais para fase, terra, sequência negativa e neutro (67P, 67G, 67Q e 67N), além de recursos de sobrecorrente adaptativa (50/51), que ajustam dinamicamente os parâmetros de proteção conforme as condições do sistema. O diagrama também contempla a proteção de falha de disjuntor baseada em sobrecorrente (50BF) e a função *Best Choice Ground* (50G), ampliando a confiabilidade na detecção de faltas à terra (Schweitzer Engineering Laboratories, 2024).

As proteções baseadas em tensão, frequência e potência também estão integradas à arquitetura funcional. Destacam-se as proteções de subtensão (27) e sobretensão (59), incluindo medições por fase, terra e sequência negativa, bem como as funções de frequência para condições de sobrefrequência, subfrequência e

taxa de variação de frequência (81O, 81U e 81R). O relé incorpora ainda a função de potência direcional (32), a verificação de sincronismo (25) e a supervisão de tensão por meio da função *Phantom Phase Voltage* (PPV), que auxilia na detecção de anomalias associadas à perda de fase (Schweitzer Engineering Laboratories, 2024).

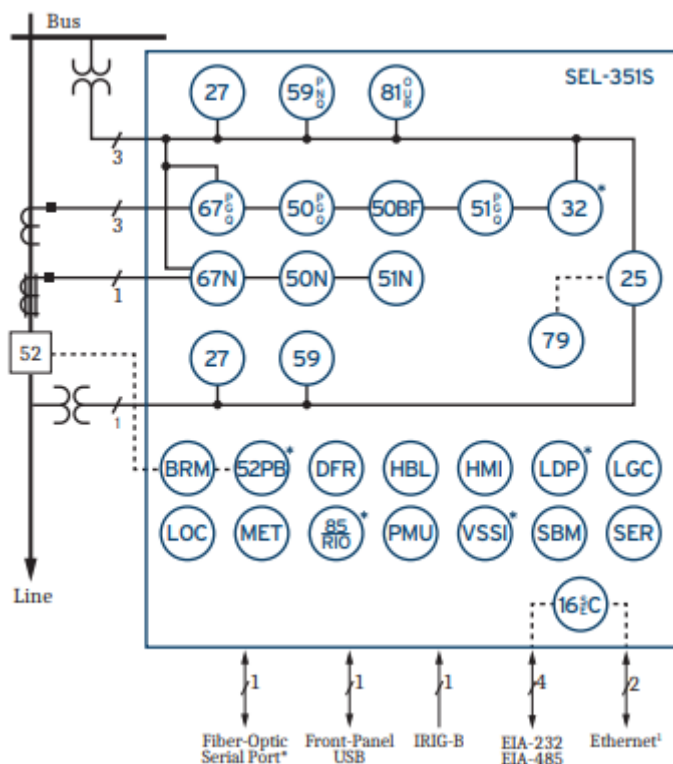
No campo do controle e da automação, o diagrama funcional evidencia a presença do religamento automático (79), do bloqueio por harmônicos (HBL) e das funções de invasão de carga (*load encroachment*, LDE), essenciais para evitar atuações indevidas durante condições de carga pesada. Essas funções são coordenadas pelas equações de controle programáveis SELogic® (LGC), que permitem a implementação de lógicas personalizadas de proteção, intertravamento e controle. O relé dispõe ainda de recursos locais de comando, como botões de abertura e fechamento de disjuntores (52PB), além de mecanismos de segurança de acesso (16) aplicáveis às interfaces seriais e Ethernet (Schweitzer Engineering Laboratories, 2024).

A figura 1 também evidencia a integração de recursos avançados de medição, supervisão e análise de eventos. O SEL-351S incorpora medição de alta precisão (MET), localizador de faltas (LOC), perfilamento de dados de carga (LDP), relatórios de variações de tensão como afundamentos, elevações e interrupções (VSSI) e medição de sincrofasores (PMU). Complementarmente, o sistema dispõe de relatórios digitais de eventos (DFR), registro sequencial de eventos (SER), monitoramento do desgaste de disjuntores (BRM) e monitoramento da bateria da subestação (SBM), ampliando a capacidade de diagnóstico e gestão de ativos (Schweitzer Engineering Laboratories, 2024).

No que se refere à interface e comunicação, o relé apresenta interface homem-máquina (HMI) para operação local e suporte a comunicações avançadas, incluindo o uso do protocolo SEL MIRRORED BITS® (85RIO), possibilitando esquemas de proteção e intertravamento rápidos e confiáveis entre dispositivos. Essa arquitetura funcional integrada evidencia a convergência de proteção, automação, controle, medição e monitoramento em uma única plataforma inteligente, adequada às exigências modernas de confiabilidade, seletividade e

gestão de alimentadores e ativos de subestação (Schweitzer Engineering Laboratories, 2024).

Figura 5: visão geral funcional do relé digital SEL-351S.



Fonte: (Schweitzer Engineering Laboratories, 2024).

2.2.5 Proteção de linha de transmissão

Com base em Mamede Filho e Mamede (2013), para proteção de linhas de transmissão, a evolução tecnológica permitiu consolidar em esquemas modernos um conjunto abrangente de funções que atendem aos requisitos de velocidade, seletividade e confiabilidade.

As principais funções utilizadas nos terminais, independente do nível de tensão, são: a proteção diferencial de linha (87L), que atua como principal proteção de alta velocidade para faltas internas; as proteções de distância (21 e 21N) para fase e neutro, que fornecem proteção de zona e backup; as proteções direcionais de sobrecorrente (67 e 67N) para fase e neutro; as proteções de sobrecorrente instantânea (50, 50N) e temporizada (51, 51N) para fase e neutro; as proteções contra subtensão (27) e sobretensão (59); a proteção contra desbalanço de corrente (46); o religamento automático (79) para defeitos temporários; a proteção contra falha de disjuntor (50BF); o bloqueio de segurança (86); a proteção auxiliar de

carrier (85) para esquemas teleproteção; e o elemento direcional de potência ativa (32P) para detecção de fluxo de potência reverso (Mamede Filho; Mamede, 2013).

O relé SEL-787L consolida em um único equipamento um conjunto abrangente e sofisticado de funções de proteção, desenvolvido especificamente para atender às exigências de velocidade, seletividade e confiabilidade associadas à proteção de linhas de transmissão e alimentadores críticos, conforme descrito em seu catálogo técnico. Essa integração permite a substituição de múltiplos relés discretos por uma solução única, reduzindo a complexidade de engenharia e aumentando a confiabilidade operacional do sistema de proteção (*Schweitzer Engineering Laboratories*, 2025c).

A funcionalidade central do SEL-787L é a proteção diferencial de linha (87L) de alta velocidade, que atua como o principal elemento de defesa contra faltas internas ao longo do trecho protegido, comparando correntes nos terminais da linha por meio de canais de comunicação dedicados. Esse esquema diferencial garante elevada sensibilidade e rapidez na detecção de falhas, mesmo em sistemas fortemente interligados, assegurando atuação seletiva e precisa (*Schweitzer Engineering Laboratories*, 2025c).

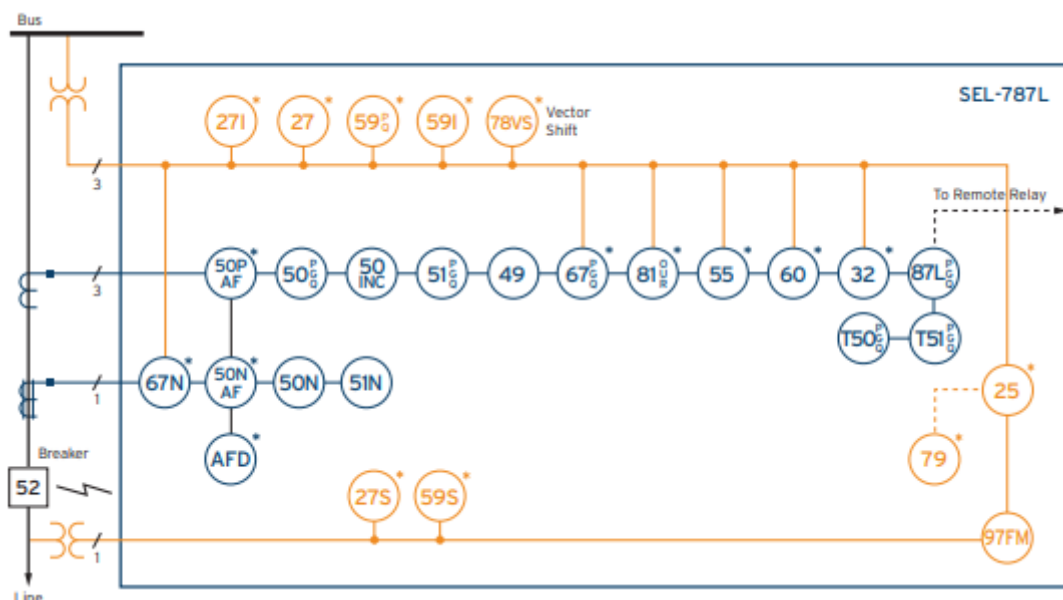
Como camada complementar e de retaguarda, o relé incorpora um amplo conjunto de proteções de sobrecorrente instantânea e temporizada, abrangendo fase (50P, 51P), terra residual (50G, 51G), neutro (50N, 51N) e sequência negativa (50Q, 51Q). Muitas dessas funções dispõem de controle direcional (67P, 67G, 67N, 67Q), o que amplia significativamente a seletividade em redes malhadas e em sistemas com múltiplas fontes de alimentação (*Schweitzer Engineering Laboratories*, 2025c).

Complementando a proteção contra falhas elétricas, o SEL-787L integra funções de tensão e frequência, incluindo subtensão e sobretensão (27, 27I, 59, 59I), bem como proteção de frequência e taxa de variação de frequência (81, 81R, 81RF), amplamente utilizadas em esquemas de controle de carga e estabilidade do sistema. Essas funções permitem respostas rápidas a condições anormais do sistema elétrico, contribuindo para a manutenção da integridade da rede (*Schweitzer Engineering Laboratories*, 2025c).

O relé também incorpora funções especializadas voltadas à proteção avançada de linhas e cabos, como detecção de faltas incipientes em cabos (50INC), detecção de condutor rompido (BCD), proteção térmica de cabos e linhas (49T), religamento automático (79), verificação de sincronismo (25), proteção contra falha de disjuntor (BF) e localizador de faltas (FLOC). Essas funcionalidades ampliam a capacidade diagnóstica e operacional do sistema de proteção, reduzindo o tempo de indisponibilidade após contingências (Schweitzer Engineering Laboratories, 2025c).

Adicionalmente, o SEL-787L pode incluir recursos opcionais como detecção de arco elétrico (AFT) e detecção de faltas de alta impedância (HIF), além de um robusto conjunto de funções de automação, monitoramento e comunicação, como lógica programável SELOGIC®, registro sequencial de eventos (SER), relatórios de perturbações (DFR), medição de sincrofasores (PMU) e comunicação via SEL Mirrored Bits® (85RIO). Essa integração transforma o SEL-787L em um sistema completo de proteção e controle, elevando significativamente a confiabilidade e a segurança da proteção de linhas de transmissão modernas (Schweitzer Engineering Laboratories, 2025c).

Figura 6: visão geral funcional do relé digital SEL-787L.



Fonte: (Schweitzer Engineering Laboratories, 2025c).

2.2.6 Proteção de barramento

Com base na fundamentação de Mamede Filho e Mamede (2013) para proteção de barramentos, o esquema idealizado deve assegurar a continuidade operacional deste elemento crítico ao isolar apenas faltas internas, enquanto coordena a eliminação de faltas nas derivações. Para isso, um sistema de proteção completo e coordenado é composto pelas seguintes funções, categorizadas conforme seu objetivo principal: a proteção diferencial do barramento (87B), que atua como proteção principal de alta velocidade para detectar exclusivamente faltas internas; as proteções de sobrecorrente (50, 50N, 51, 51N) e de sequência negativa (50Q, 51Q), que atuam como proteção de backup e para faltas externas; as proteções direcionais de terra (67G) e de terra (64), que garantem a detecção sensível de faltas à terra; a proteção de fase aberta (46) para desbalanceamentos; a proteção contra falha de disjuntor (50BF) para assegurar a eliminação da falta mesmo em caso de falha do dispositivo de abertura; e o bloqueio de segurança (86) para coordenar logicamente e evitar atuações incorretas do sistema de proteção, formando assim uma defesa em camadas que prioriza a seletividade e a confiabilidade do barramento.

O relé SEL-487E consolida, em uma única plataforma, um sistema completo de proteção, automação e controle de transformadores, conforme apresentado na figura 1 (“*Functional Overview*”) de seu *datasheet*. O diagrama funcional evidencia uma arquitetura integrada que reúne, de forma coordenada, as principais funções de proteção e supervisão exigidas para a operação segura de transformadores de potência em subestações modernas, substituindo arranjos tradicionais baseados em múltiplos relés dedicados (Schweitzer Engineering Laboratories, 2025d).

No núcleo do sistema estão as funções de proteção diferencial, que constituem a principal defesa contra faltas internas. Destacam-se a proteção diferencial de transformador (87T), implementada com restrição e supervisão por sequência negativa, e a proteção diferencial de barramento (87B), utilizada como proteção adicional em esquemas integrados. Complementarmente, a proteção de falta à terra restrita (REF) amplia a sensibilidade para defeitos próximos ao neutro do transformador, assegurando elevada seletividade e rapidez de atuação (Schweitzer Engineering Laboratories, 2025d).

Como camada de retaguarda e suporte à proteção principal, o SEL-487E incorpora um conjunto abrangente de proteções de sobrecorrente instantânea e temporizada, incluindo sobrecorrente de fase, neutro e sequência negativa (50, 50N, 51, 51N), bem como funções específicas para falha de disjuntor (50BF). Essas proteções garantem a eliminação segura de faltas externas ou condições anormais não detectadas pelas funções diferenciais, contribuindo para a confiabilidade global do esquema de proteção (*Schweitzer Engineering Laboratories, 2025d*).

O relé também integra proteções sistêmicas e de regime anormal, como subtensão (27), sobretensão (59), frequência (81), potência direcional (32), verificação de sincronismo (25), desequilíbrio de corrente ou sequência negativa (46), religamento automático (79) e bloqueio por perda de sincronismo ou fora de passo (68). Essas funções ampliam o escopo do SEL-487E para além da proteção interna do transformador, permitindo sua atuação coordenada com o sistema elétrico ao qual o equipamento está conectado (*Schweitzer Engineering Laboratories, 2025d*).

No âmbito do monitoramento térmico e da integridade do ativo, o SEL-487E dispõe de um modelo térmico compatível com as normas IEEE C57.91 e IEC 60255 (49), além da possibilidade de integração com módulos de sensores de temperatura do tipo RTD por meio do módulo ENV. Esses recursos permitem a supervisão contínua do aquecimento do transformador, auxiliando na prevenção de sobrecargas prolongadas e no gerenciamento da vida útil do equipamento (*Schweitzer Engineering Laboratories, 2025d*).

Por fim, o relé incorpora um extenso conjunto de funções avançadas de automação, controle e comunicação, incluindo lógica programável SELOGIC® (LGC), medição de alta precisão (MET), interface homem-máquina (HMI), registradores de eventos e perturbações (SER e DFR), monitor de bateria (SBM), monitor de desgaste de disjuntor (BRM), perfilamento de carga (LDP), medição de sincrofasores (PMU) e comunicação por diversos protocolos, como SEL *Mirrored Bits*® (85 RIO) e RTU. Essa integração evidencia a transição para um sistema unificado e inteligente, no qual a proteção, controle e supervisão operam de forma interligada, proporcionando uma gestão integrada e eficiente do transformador (*Schweitzer Engineering Laboratories, 2025d*).

curtos-circuitos; a proteção contra falha de disjuntor (50BF) para garantir a eliminação da falta; e o bloqueio de segurança (86) para coordenar a atuação do sistema e prevenir operações incorretas, formando assim uma barreira completa para a segurança do banco de capacitores.

O relé SEL-487V é um sistema dedicado à proteção, controle e monitoramento de bancos de capacitores, integrando em uma única plataforma as funções necessárias para garantir a operação segura, seletiva e confiável desses ativos no sistema elétrico. Conforme descrito em seu datasheet, o equipamento foi projetado para lidar tanto com faltas elétricas quanto com condições operacionais anormais típicas de bancos de capacitores shunt, incluindo desequilíbrios, sobretensões e variações de frequência (*Schweitzer Engineering Laboratories, 2025e*).

No núcleo da proteção elétrica do SEL-487V destacam-se as funções diferenciais de tensão, que constituem o principal mecanismo de detecção de falhas internas no banco. A proteção diferencial de tensão por fase (87V) e a proteção diferencial de tensão no neutro (87VN) permitem identificar desequilíbrios causados por fusíveis abertos, falhas internas em unidades capacitivas ou degradação progressiva do banco, assegurando elevada sensibilidade mesmo para defeitos incipientes (*Schweitzer Engineering Laboratories, 2025e*).

Como complementação à proteção principal, o relé incorpora um amplo conjunto de proteções de sobrecorrente instantânea e temporizada, incluindo sobrecorrente de fase, sequência zero e sequência negativa (50, 51), além de funções específicas para falha de disjuntor (50BF) e flashover de disjuntor (50FO). Essas funções garantem a atuação adequada em situações de curto-circuito externo, falhas de manobra ou problemas associados aos dispositivos de interrupção do banco de capacitores (*Schweitzer Engineering Laboratories, 2025e*).

O SEL-487V também integra diversas proteções de tensão, corrente e frequência, essenciais para a supervisão do regime operacional do banco. Entre elas destacam-se as proteções de subtensão (27) e sobretensão (59) aplicáveis por fase, sequência e por banco, a proteção de sobretensão com característica inversa conforme a IEC 60871-1 (59T), as funções de desequilíbrio de corrente de fase e

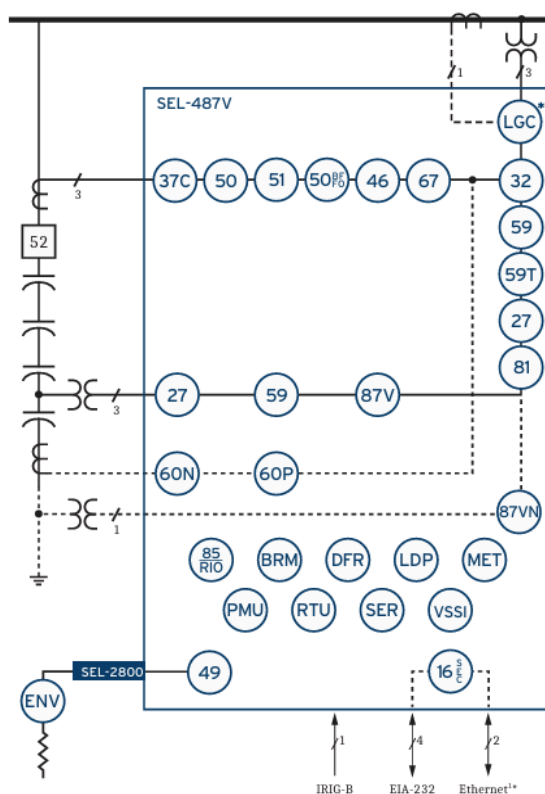
neutro (46, 60P, 60N), a proteção de subcorrente (37C) e as proteções de frequência, incluindo sobrefrequência, subfrequência e taxa de variação da frequência (81 – ROCOF). Esse conjunto assegura a desconexão do banco em condições que possam comprometer sua integridade ou a estabilidade do sistema elétrico (*Schweitzer Engineering Laboratories, 2025e*).

Adicionalmente, o relé oferece funções direcionais de potência e corrente (32, 67), que ampliam a seletividade da proteção em sistemas mais complexos ou malhados, permitindo diferenciar faltas internas do banco de eventos provenientes da rede. Essas funcionalidades são particularmente relevantes em subestações com múltiplos bancos de capacitores ou em aplicações associadas ao controle de potência reativa em níveis elevados de tensão (*Schweitzer Engineering Laboratories, 2025e*).

No campo do controle e automação, o SEL-487V incorpora lógica programável SELOGIC® com funções específicas para controle de banco de capacitores, incluindo estratégias de controle por fator de potência, tensão ou potência reativa (LGC). Associam-se a essas capacidades recursos de medição de alta precisão (MET), monitoramento térmico por RTDs via módulo ENV, perfilamento de carga (LDP) e supervisão da qualidade de energia por meio do monitoramento de afundamentos, elevações e interrupções de tensão (VSSI), contribuindo para uma gestão eficiente e preventiva do ativo (*Schweitzer Engineering Laboratories, 2025e*).

Por fim, o SEL-487V integra um robusto conjunto de funções de registro, comunicação e supervisão, incluindo registrador sequencial de eventos (SER), relatórios de eventos e perturbações (DFR), monitoramento de desgaste de disjuntor (BRM), segurança de acesso (SEC), suporte a sincrofasores (PMU) e comunicação via SEL Mirrored Bits® (85 RIO) e RTU. Essa integração consolida o relé como uma solução completa e inteligente para proteção e controle de bancos de capacitores, reduzindo a necessidade de dispositivos auxiliares e aumentando a confiabilidade operacional do sistema (*Schweitzer Engineering Laboratories, 2025e*).

Figura 8: visão geral funcional do relé digital SEL-487V.



Fonte: (Schweitzer Engineering Laboratories, 2025e).

2.3 Funções especiais

2.3.1 Proteção no Domínio do Tempo

A proteção no domínio do tempo (*Time-Domain Protection*) configura-se como uma evolução dos esquemas de proteção digital aplicados a sistemas elétricos de potência, ao deslocar o processo de tomada de decisão do domínio fasorial para a análise direta dos sinais instantâneos de tensão e corrente. Enquanto os relés numéricos convencionais fundamentam-se no cálculo de fasores obtidos a partir de amostras coletadas ao longo de, pelo menos, um ciclo da forma de onda fundamental, a proteção no domínio do tempo baseia-se na identificação da assinatura inicial do distúrbio por meio da análise de componentes transitórios de alta frequência e das variações incrementais dos sinais elétricos, permitindo tempos de atuação inferiores a um quarto de ciclo (PHADKE, 2009).

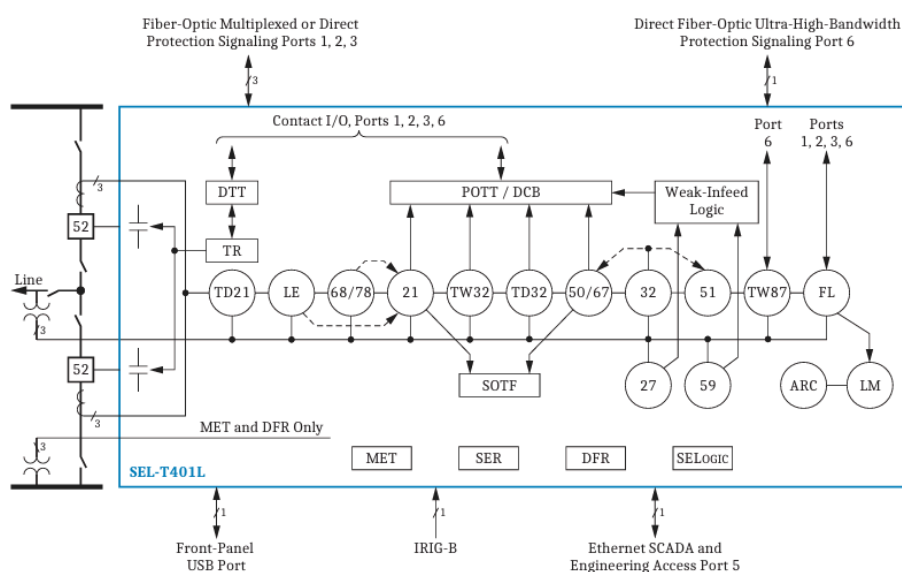
O princípio de funcionamento dessa abordagem apoia-se, de forma complementar, em técnicas baseadas em ondas viajantes e na análise de grandezas incrementais. As ondas viajantes correspondem a pulsos

eletromagnéticos de alta frequência gerados no instante da ocorrência da falta, cuja avaliação do tempo de chegada e da polaridade nos terminais da linha possibilita uma atuação extremamente rápida, na ordem de milissegundos, além de elevada precisão na localização do defeito. De forma complementar, a análise de grandezas incrementais considera as variações abruptas de tensão e corrente em relação às condições pré-falta, fornecendo critérios de decisão robustos e menos dependentes do ponto de operação do sistema elétrico (PHADKE, 2009).

A aplicação prática desses princípios em sistemas de proteção modernos tem sido viabilizada pelo avanço das tecnologias de aquisição e comunicação de dados em alta taxa de amostragem, como os enlaces no domínio do tempo e o uso de valores amostrados padronizados. Tais recursos permitem a transmissão sincronizada de sinais instantâneos com baixa latência e alta determinismo, viabilizando a implementação industrial de algoritmos de proteção no domínio do tempo em relés comerciais voltados à proteção de linhas de transmissão (Schweitzer Engineering Laboratories, 2026a).

No relé digital SEL-T401L há as funcionalidades de ondas viajantes e de análise de grandezas incrementais. Representadas pelas funções TW32 e TW87 para ondas viajantes e pelas funções TD21, TD32 para análise de grandezas incrementais que são visíveis na figura 9 (Schweitzer Engineering Laboratories, 2025f).

Figura 9: visão geral funcional do relé digital SEL-T401L.



Fonte: (Schweitzer Engineering Laboratories 2025f).

2.3.2 Controle de perdas

Na gestão de sistemas de distribuição, uma vertente fundamental do controle de perdas é a minimização das perdas sociais e econômicas decorrentes de interrupções no fornecimento de energia. Esta estratégia, conhecida como controle de perdas por confiabilidade, visa isolar defeitos de forma seletiva e restaurar o serviço ao maior número possível de clientes no menor tempo, reconfigurando dinamicamente a rede. Tecnologias como os controladores de religador inteligente, a exemplo do SEL-651RA, materializam esse conceito ao integrar funções de reconfiguração automática de rede, comunicação assistida para esquemas de proteção e localização precisa de faltas, formando um sistema ativo para a redução do tempo e do escopo das interrupções (*Schweitzer Engineering Laboratories*, 2026b).

2.3.3 Sistemas secundários digitais

A modernização das subestações elétricas passa pela adoção de Sistemas Secundários Digitais, arquitetura que substitui a fiação analógica convencional por redes de comunicação digitais padronizadas, como a IEC 61850. Este conceito visa integrar todos os dispositivos de proteção, controle, medição e monitoramento (IEDs) em um sistema interoperável, onde a troca de informações e comandos ocorre de forma rápida e confiável, aumentando a flexibilidade, reduzindo custos de cablagem e facilitando a manutenção. Relés de proteção multifuncionais e altamente configuráveis, como o SEL-421, exemplificam essa transição ao atuarem como IEDs principais em esquemas de proteção de distância e sobrecorrente, oferecendo suporte nativo a protocolos de comunicação digital, lógica programável avançada (SELOGIC) e funcionalidades de automação que permitem sua integração completa em ambientes de subestação digital (*Schweitzer Engineering Laboratories*, 2026c).

2.3.4 Controle de vão

A operação segura e estável de linhas de transmissão longas e sistemas interligados exige controles de vão especializados. Estes sistemas são responsáveis por gerenciar condições específicas do vão da linha, como a compensação reativa

por meio de reatores shunt, o controle de tensão e a detecção de faltas. Relés de proteção e controle avançados, como o SEL-451, exemplificam essa funcionalidade ao integrar proteção de distância de múltiplas zonas, esquemas de teleproteção (transferência *trip*), controle automático de reatores e funções de sincronismo, permitindo a proteção precisa do vão da linha e o gerenciamento da energia reativa para manter a estabilidade do sistema (*Schweitzer Engineering Laboratories*, 2026d).

2.3.5 Detecção de arco elétrico

A segurança de pessoas e equipamentos em subestações e painéis elétricos de média tensão depende criticamente da detecção e mitigação de arco elétrico. Este tipo de falta, caracterizado por uma descarga luminosa de alta energia, pode ser causada por falhas de isolamento ou contato acidental. Sistemas de proteção dedicados combinam a detecção óptica ultra-rápida da luz do arco com a verificação simultânea de um aumento de corrente, garantindo uma atuação seletiva e em milissegundos para interromper o fornecimento de energia. Relés multifuncionais, como o SEL-710-5 com seu cartão opcional de detecção de arco (AFDI), materializam essa defesa ao integrar entradas para sensores de fibra óptica e lógica dedicada, permitindo a redução da energia incidente e aumentando a segurança operacional (*Schweitzer Engineering Laboratories*, 2026e).

2.3.6 Detecção de condutores abatidos

A segurança pública e a confiabilidade da rede de distribuição são ameaçadas pelas faltas de alta impedância, frequentemente causadas por condutores abatidos em contato com superfícies como solo, asfalto ou vegetação. A detecção dessas faltas é um desafio técnico, pois a corrente de falta é muito baixa para ser percebida pelas proteções de sobrecorrente convencionais. Tecnologias especializadas, como a Tecnologia *Arc Sense*[™] (AST), utilizam algoritmos avançados para analisar assinaturas harmônicas e padrões de corrente, identificando de forma confiável essas condições perigosas. Relés de proteção para alimentadores, como o SEL-751, incorporam essa funcionalidade como uma opção, fornecendo uma camada crítica de proteção para prevenir riscos de incêndio e eletrocução (*Schweitzer Engineering Laboratories*, 2026f).

2.3 IEDs e relés digitais SEL

Segundo a *Schweitzer Engineering Laboratories* (2026g), a empresa atua no desenvolvimento, projeto e fabricação de produtos e sistemas digitais voltados à proteção, automação e controle de infraestruturas críticas em escala global. Suas tecnologias contribuem para a prevenção de apagões, além de possibilitarem maior confiabilidade, segurança e eficiência operacional nos sistemas elétricos. Fundada em 1984 e sediada em Pullman, Washington (EUA), a SEL é uma companhia de capital integralmente detida por seus funcionários, mantendo toda a sua produção nos Estados Unidos. A empresa destaca-se ainda pelo suporte técnico especializado e por oferecer garantia mundial de dez anos em seus produtos.

Além disso, conforme a *Schweitzer Engineering Laboratories* (2026g), os relés protetores da empresa contemplam um amplo conjunto de funções e aplicações, distribuídas por categorias que atendem aos diferentes elementos e necessidades de uma subestação. Entre essas categorias estão: proteção em domínio temporal (funções *time-domain*) voltadas à análise de sinais transientes; proteção de geradores, que engloba detecção de perda de excitação, desequilíbrio e outros eventos críticos de máquinas rotativas; proteção transformadora, com funções diferenciais, térmicas e de sobrecorrente para preservar transformadores; proteção de barramentos (*busbar*), dedicada à rápida identificação e isolamento de faltas em barramentos; proteção de linhas, incluindo relés de distância e sobrecorrente para linhas de transmissão e distribuição; e proteção de alimentadores, que assegura seletividade e coordenação na rede de distribuição. Complementam esse conjunto controles e automação de vão (controles *bay*), dispositivos para proteção de bancos de capacitores, proteções específicas para motores, bem como sistemas secundários digitais que centralizam funções de monitoramento e automação. A SEL também destaca funcionalidades de detecção de condições de risco, como arc-flash e condutores abatidos, além de fornecer software para configuração e visualização dos relés e esquemas de proteção. Essas categorias refletem a abordagem integrada da empresa para proteger, automatizar e monitorar instalações elétricas em diferentes níveis de tensão e complexidade.

2.4 Tipos de Portas em Relés de Proteção SEL

2.4.1 Portas de Entrada Digital (DI)

Conforme descrito na documentação dos relés SEL, as portas de entrada digital possuem a função primordial de monitorar variáveis de estado do sistema, como como posição de disjuntores, chaves seccionadoras ou sinais de outros dispositivos de proteção. Sua operação baseia-se no princípio de detecção de nível de tensão CC, onde o circuito interno é considerado ativado ("1" lógico) apenas quando a tensão aplicada aos seus terminais atinge um patamar mínimo pré-definido, garantindo imunidade a ruídos espúrios (*Schweitzer Engineering Laboratories*, 2025g).

2.4.1.1 Sensíveis a Nível (Level-Sensitive) e Optoisoladas

Um aspecto crítico de segurança e confiabilidade dessas entradas é o isolamento galvânico. Os relés SEL implementam esse isolamento através de optoacopladores, que utilizam um sinal de luz para transmitir o estado do circuito de campo (potencialmente sujeito a altas tensões e ruídos) para a eletrônica de baixa tensão do relé, criando uma barreira física que protege o equipamento (*Schweitzer Engineering Laboratories*, 2025g).

2.4.1.2 Configuração: Entradas Independentes vs. Comuns

Para oferecer flexibilidade ao projetista, as entradas digitais podem ser configuradas em dois arranjos de fiação distintos. No modo independente, cada canal possui seu próprio terminal de retorno, sendo ideal para sinais provenientes de circuitos isolados entre si. Já no modo comum, múltiplas entradas compartilham um único terminal de retorno, simplificando a instalação e reduzindo a quantidade de condutores quando os pontos monitorados compartilham o mesmo referencial (*Schweitzer Engineering Laboratories*, 2025g).

2.4.2 Portas de Saída Digital / de Controle (DO)

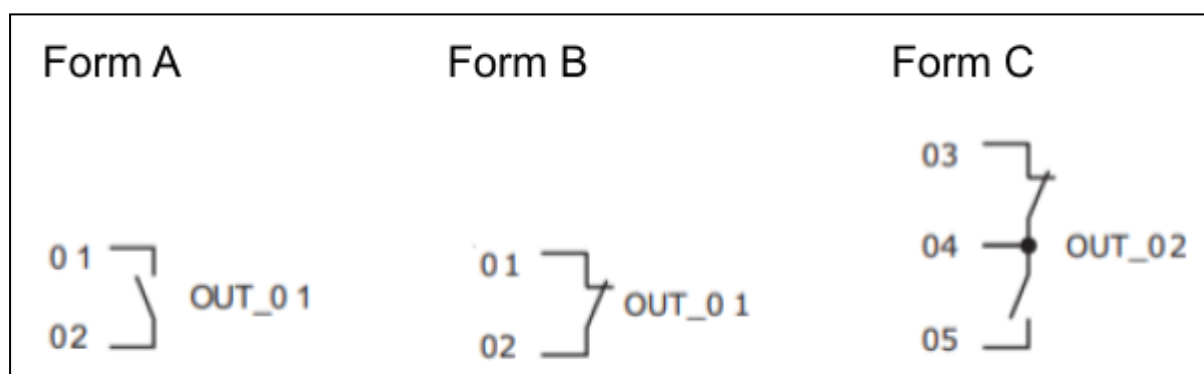
Os relés de proteção SEL são projetados não apenas para detectar anomalias, mas também para atuar sobre o sistema de forma decisiva. Essa atuação é realizada pelas portas de saída de controle, cuja função primária, conforme estabelecido em sua documentação técnica, é executar comandos automáticos ou manuais—como abertura (*trip*) e fechamento (*close*) de

disjuntores—assegurando a seletividade e a segurança da operação (Schweitzer Engineering Laboratories, 2025g).

2.4.2.1 Formas de Contato: Forma A, B e C

Segundo a documentação técnica da *Schweitzer Engineering Laboratories* (2025h), os contatos utilizados em relés digitais podem ser classificados em três configurações principais: Forma A, caracterizada por contatos normalmente abertos, nos quais o sinal somente é considerado ativo quando ocorre o fechamento do circuito; Forma B, correspondente aos contatos normalmente fechados, que assumem condição ativa quando o circuito é interrompido; e Forma C, que consiste em um contato comutador, disponibilizando simultaneamente terminais NA (Normalmente Aberto) e NF (Normalmente Fechado) a partir de um terminal comum, permitindo a seleção lógica entre ambos conforme a aplicação desejada. A representação desses tipos de contato estão descritas na figura 10.

Figura 10: representação dos tipos de contato dos relés digitais Sel.



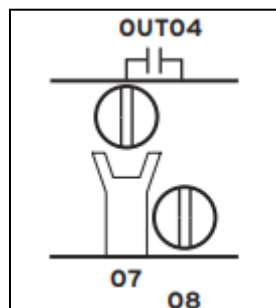
Fonte: Adaptado de *Schweitzer Engineering Laboratories* (2025h).

2.4.2.2 Saídas Eletromecânicas Padrão

Segundo a documentação técnica da *Schweitzer Engineering Laboratories* (2025g), as saídas de controle padrão consistem em contatos secos do tipo Forma A dimensionados para *tripping duty*, com capacidade nominal de 30 A para fechamento, 6 A para condução contínua e até 0,75 A para interrupção, valor que varia conforme a tensão do circuito. Esses contatos suportam até 250 Vca/330 Vcc e apresentam tempo máximo de atuação e abertura de 6 ms sob carga resistiva.

Podemos ver a representação utilizada para representar essas portas nos manuais da SEL retratado na figura 11.

Figura 11: representação do contato padrão dos relés digitais Sel.



Fonte: Schweitzer Engineering Laboratories (2025g).

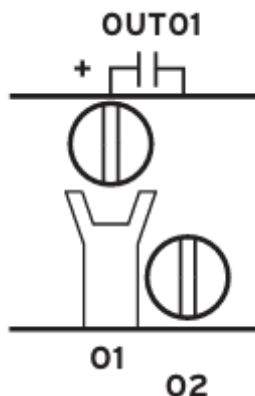
2.4.2.3 Saídas Híbridas de Alta Capacidade de Interrupção

Segundo a documentação técnica da *Schweitzer Engineering Laboratories* (2025g), as saídas de controle híbridas (de alta capacidade de interrupção) são dependentes de polaridade e são capazes de interromper cargas indutivas de alta corrente. As saídas híbridas utilizam um transistor bipolar de porta isolada (IGBT) em paralelo com um contato mecânico para interromper (abrir) correntes contínuas altamente indutivas. Os contatos são capazes de conduzir corrente continuamente enquanto eliminam a necessidade de dissipadores de calor e oferecem proteção contra transitórios de tensão.

Com qualquer saída híbrida, o tempo de abertura varia de acordo com a relação L/R (indutiva/resistiva do circuito). Conforme a relação L/R aumenta, o tempo necessário para interromper o circuito completamente também aumenta. A razão para este aumento do atraso de interrupção é que a corrente do circuito continua a fluir através do varistor (MOV) da saída após sua desativação, até que toda a energia indutiva seja dissipada. O tempo máximo de desativação (abertura) é de 6 ms com uma carga resistiva, o mesmo das saídas de controle padrão. As demais especificações dessas saídas são semelhantes às das saídas de controle padrão, exceto que as saídas híbridas podem interromper correntes de até 10 A. As saídas com contatos híbridos possuem uma tensão máxima nominal de 330 Vcc (*Schweitzer Engineering Laboratories*, 2025g).

O tempo máximo de fechamento do contato para as saídas de controle híbridas é de 6 ms. A figura 12 mostra uma conexão representativa para uma saída de controle híbrida do tipo Forma A nos terminais de E/S da placa principal.

Figura 12: representação da saída híbrida dos relés digitais Sel.



Fonte: *Schweitzer Engineering Laboratories* (2025g).

2.4.2.4 Saídas de Alta Velocidade e Alta Interrupção

Segundo a documentação técnica da *Schweitzer Engineering Laboratories* (2025g), as placas de interface de E/S INT4 e INT8 oferecem um terceiro tipo de saída de controle: as saídas de alta velocidade e alta capacidade de interrupção. Essas saídas são protegidas contra transitórios de tensão por um MOV (Varistor de Óxido Metálico) por contato e se diferenciam radicalmente pelo seu desempenho dinâmico.

A principal característica é o tempo de fechamento ultrarrápido de 10 μ s sob carga resistiva, contrastando fortemente com os 6 ms das saídas padrão e híbridas, o que as torna ideais para aplicações que demandam atuação crítica em janelas de tempo mínimas. O tempo máximo de abertura é de 8 ms e a tensão máxima suportada é de 330 Vcc (*Schweitzer Engineering Laboratories*, 2025g).

A implementação física varia entre os modelos INT4 e INT8. Enquanto a INT4 utiliza dois terminais por saída, a INT8 emprega três. Este terceiro terminal está conectado a resistores de pré-carga internos, uma solução projetada para mitigar transitórios de corrente de inrush capacitivos que poderiam causar o acionamento falso (*false pickup*) de dispositivos sensíveis (como entradas digitais ou relés auxiliares de alta velocidade) ao fechar uma chave externa em série com os contatos abertos (*Schweitzer Engineering Laboratories*, 2025g).

O princípio de funcionamento do circuito de pré-carga é conduzir a tensão da linha CC através dos resistores internos para carregar previamente a capacitância

parasita da saída, eliminando o pulso de corrente momentânea. Para conexão correta, o terceiro terminal deve ser ligado ao barramento CC (positivo ou negativo) que está no mesmo lado da chave externa que permanecerá aberta durante a operação normal. Na INT4, que não possui os resistores internamente, a mesma técnica pode ser aplicada utilizando resistores externos, conforme ilustrado na documentação (Schweitzer Engineering Laboratories, 2025g).

Figura 13: representação da saída de alta velocidade e interrupção dos relés digitais Sel.



Fonte: (Schweitzer Engineering Laboratories 2026g).

2.4.3 Portas Analógicas e de Função Especializada

A arquitetura modular dos relés SEL permite a integração de portas com funções altamente especializadas, que transcendem a proteção digital básica. Conforme documentado, essas portas capacitam o relé a atuar como um sistema integrado de proteção, monitoramento térmico, segurança pessoal e medição de grandezas de qualidade de energia, consolidando múltiplas funções em um único equipamento (Schweitzer Engineering Laboratories, 2025i).

2.4.3.1 Entradas para RTD (Resistance Temperature Detector)

A proteção contra sobrecarga térmica em transformadores e motores de alta potência é uma função crítica. Os manuais da SEL especificam que as entradas dedicadas a RTDs (Detectores de Temperatura por Resistência) permitem o monitoramento direto e preciso da temperatura do enrolamento ou do óleo, habilitando alarmes e tripes baseados em modelos térmicos matemáticos que simulam com mais fidelidade o aquecimento do equipamento do que métodos indiretos baseados apenas em corrente (Schweitzer Engineering Laboratories, 2025i).

2.4.3.2 Entradas para Detecção de Arco Elétrico (AFD)

A segurança do pessoal e a mitigação de danos catastróficos são prioridades no design de equipamentos de média tensão. A documentação técnica da SEL enfatiza que as entradas para detecção de arco elétrico (AFD) são projetadas para fornecer um sinal de trip independente e ultrarrápido (na faixa de milissegundos) ao detectar a luz intensa de um arco interno, complementando as proteções contra sobrecorrente e reduzindo drasticamente a energia incidente de um possível *arc-flash* (Schweitzer Engineering Laboratories, 2025i).

2.4.3.3 Outras Portas Analógicas

Para atuar como um ponto central de aquisição de dados do sistema, os relés SEL oferecem portas analógicas versáteis. As entradas analógicas (ACI/AVI) permitem a conexão direta a transformadores de corrente e potencial convencionais ou a modernos sensores de baixa energia (LEA e *Rogowski*), enquanto as saídas analógicas (AO) geram sinais padrão do setor, como 4-20 mA, para retransmissão de valores medidos (corrente, tensão, potência) a sistemas SCADA ou CLPs, integrando o relé à automação da subestação (Schweitzer Engineering Laboratories, 2025i).

2.5 Entradas com proteção diferencial

Conforme a Schweitzer Engineering Laboratories (2025i), a proteção diferencial percentual de dupla inclinação "oferece proteção mais sensível e segura que a diferencial tradicional", pois sua característica "compensa desajustes, erros e saturação de TCs, além de erros por comutação de tap". Para garantir estabilidade durante o inrush e a sobreexcitação, a maioria dos relés emprega "bloqueio ou restrição harmônica", utilizando harmônicas pares com bloqueio por CC no primeiro caso, e a 5ª harmônica no segundo.

2.6 Padrões Ethernet

As redes Ethernet modernas são predominantemente constituídas por *switches*, dispositivos que operam na camada de enlace do modelo de referência OSI (*Open Systems Interconnection*) e realizam a comutação de quadros com base

em endereços MAC (*Media Access Control*). As taxas de transmissão dessas redes variam desde 10 Mbit/s até 10 Gbit/s, estando diretamente relacionadas às características do meio físico empregado, como tipo de cabeamento, conectores e equipamentos utilizados. Entre os meios mais difundidos destacam-se os cabos de par trançado não blindado (UTP) e a fibra óptica, cada qual associado a limites específicos de velocidade e alcance. A arquitetura típica dessas redes, bem como a relação entre os diferentes tipos de cabeamento e suas capacidades, pode ser observada na tabela 4 (SILVA, 2014).

Tabela 4: padrões de arquitetura de rede e suas capacidades.

PADRÃO	BANDA BASE	DISTÂNCIA ATINGIDA	TIPO DE CABO
10Base2	10 Mbit/s	185 metros	Thinnet – Cabo Coaxial
10Base5	10 Mbit/s	500 metros	Thicknet – Cabo Coaxial
10BaseT	10 Mbit/s	100 metros	CAT3 - Par trançado sem blindagem - UTP
100BaseTX	100 Mbit/s	100 metros	CAT5, 6 e 7 - Par trançado sem blindagem - UTP
100BaseFX	100 Mbit/s	400 metros	65.2/125 μ Fibra Monomodo
1000BaseCX	1 Gbit/s	25 metros	Par trançado blindado - STP
1000BaseT	1 Gbit/s	100 metros	CAT5 - 4 pares trançado sem blindagem - UTP
1000BaseSX	1 Gbit/s	260 metros	62.5/50 μ Fibra Multimodo
1000BaseLX	1 Gbit/s	10 Km	9 μ Fibra Monomodo

Fonte: Silva (2014), com base em Filippetti (2008).

2.4.5.1 Padrão 10BASEX (*Ethernet*)

Conforme estudos na área de redes de computadores, o padrão 10BaseX representou a primeira especificação Ethernet ratificada pelo IEEE 802, operando a 10 Mbps. A evolução histórica dos meios físicos indica utilização inicial de cabos coaxiais (10Base5 e 10Base2), com posterior migração para par trançado (10BaseT) e fibra óptica (10BaseFx). Pesquisas demonstram que esta arquitetura inicial não incorporava dispositivos controladores de tráfego em sua concepção básica (FEY; GAUER, 2014).

2.4.5.2 Padrão 100BASEX (*Fast Ethernet*)

Estudos técnicos evidenciam que o Fast Ethernet (IEEE 802.3u) surgiu como resposta à demanda por maiores velocidades, incrementando a taxa de transmissão

para 100 Mbps mediante adaptações na infraestrutura existente. A literatura especializada registra três implementações principais... Análises de mercado comprovam a predominância da variante 100Base-TX, atribuída à sua compatibilidade com a infraestrutura 10Base-T (FEY; GAUER, 2014).

2.4.5.3 Padrão 1000BASEX (*Giga Ethernet*)

Atualmente, pesquisas na área de redes atestam a consolidação do Giga Ethernet como padrão dominante em redes locais, utilizando cabos UTP categoria 5e ou superiores para operação a 1 Gbps em *full-duplex*. Estudos de implantação demonstram que a migração para esta tecnologia requer avaliação técnica criteriosa (FEY; GAUER, 2014).

Esse processo de consolidação do Gigabit Ethernet é resultado de uma evolução iniciada ainda na década de 1990, quando o Ethernet se firmou como a principal tecnologia de redes locais e passou a ser vislumbrado como uma solução unificada capaz de atender desde redes locais até redes de maior abrangência geográfica, dando origem ao conceito de *Total Area Network* (TAN). A padronização do Ethernet a 1 Gbps ocorreu em 1998, com a publicação das interfaces físicas 1000Base-X, baseadas em tecnologias previamente consolidadas, como o *fibre channel*, o que contribuiu para acelerar o processo de normalização. Entre as principais premissas adotadas destacam-se a manutenção do formato de quadro IEEE 802.3, a preservação dos modos de operação da camada MAC e a compatibilidade com as versões Ethernet de 10 e 100 Mbps. Essa estratégia garantiu a continuidade das aplicações existentes e facilitou a atualização gradual das redes, característica que se tornou um dos principais fatores de sucesso da tecnologia Ethernet (SILVA, 2006).

2.5 Tecnologia TiDL (*Time-Domain Link*)

A tecnologia TiDL (*Time-Domain Link*) integra o conceito de sistemas secundários digitais por meio de uma arquitetura ponto a ponto, na qual unidades de interligação (*merging units*) instaladas no pátio da subestação realizam a digitalização dos sinais analógicos e de entrada/saída provenientes dos equipamentos primários. Esses dados são transmitidos diretamente aos relés de proteção localizados na casa de controle por meio de enlaces em fibra óptica, eliminando a necessidade de conexões convencionais em cobre. Essa abordagem

contribui para a redução de custos de instalação, aumento da confiabilidade operacional e melhoria das condições de segurança do sistema (*Schweitzer Engineering Laboratories*, 2023).

Uma das principais características do TiDL é a dispensa de engenharia de rede, uma vez que a comunicação ocorre de forma direta entre a merging unit e os relés compatíveis, sem a utilização de switches, routers ou fontes externas de sincronismo de tempo. Essa simplicidade arquitetural resulta em uma postura robusta de cibersegurança, além de oferecer flexibilidade de aplicação por meio do compartilhamento de dados entre dispositivos. Dessa forma, o TiDL se apresenta como uma solução adequada para projetos de modernização de subestações, especialmente em aplicações de proteção diferencial de linhas de transmissão (*Schweitzer Engineering Laboratories*, 2023).

2.6 Tecnologia SV (*Sampled Values*)

A tecnologia SV (*Sampled Values*) também se insere no contexto dos sistemas secundários digitais, porém adota uma arquitetura baseada em rede, na qual as *merging units* desempenham não apenas a digitalização dos sinais analógicos, mas também funções de proteção. Nesse modelo, os valores amostrados são transmitidos aos relés de proteção por meio de uma rede Ethernet, permitindo maior flexibilidade de topologia e integração entre dispositivos (*Schweitzer Engineering Laboratories*, 2023).

As soluções SV são compatíveis com as normas IEC 61850-9-2 e com a diretiva UCA 61850-9-2LE, assegurando interoperabilidade entre equipamentos de diferentes fabricantes e facilitando a expansão e padronização dos sistemas de proteção. Essa abordagem favorece a implementação de arquiteturas redundantes e de alta disponibilidade, sendo amplamente empregada em subestações digitais modernas que demandam maior escalabilidade e integração funcional entre proteção, automação e controle (*Schweitzer Engineering Laboratories*, 2023).

2.7 Part number

De acordo com o glossário da *Propel Software* ([s.d.]), a numeração de peças consiste na identificação e codificação sistemática de componentes individuais em processos de manufatura e montagem de produtos, fornecendo um identificador

único que facilita o gerenciamento de estoque, a rastreabilidade e a documentação precisa ao longo do ciclo de vida do produto.

Um exemplo de *Part Number* pode se visualizado na figura 14 o qual contém 23 caracteres e conforme a ordenação do caractere no *Part Number* há uma definição dos módulos e dos cartões do relé digital SEL-400G, além de definir em qual parte desse dispositivo será inserido esses componentes.

Figura 14: representação esquemática da codificação do Part Number.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
0	4	0	0	G	A	B	C	D	E	F	G	H	X	X	I	J	K	L	M	N	O	P
					Model		Conformal Coat															
							Power Supply															
								Connector Type														
									AC Input Card 1 Configuration													
										AC Input Card 2 Configuration												
											Ethernet Communications Protocols											
												Ethernet Connection Options										
													Mounting									
														Chassis								
																Slot B						
																		Slot B Input Voltage				
																			Slot C			
																				Slot C Input Voltage		
																					Slot D	
																						Slot D Input Voltage

Fonte: autor.

2.8 Fundamentos de PDM/PLM e a Plataforma Engineering Base

Os conceitos de Product Data Management (PDM) e Product Lifecycle Management (PLM) emergiram como resposta à crescente complexidade do desenvolvimento de produtos e sistemas, inicialmente nas indústrias aeroespacial e automotiva. O PDM foca na gestão estruturada de dados técnicos – como modelos CAD, listas de materiais (BOM) e documentos associados – garantindo controle de versões, segurança e acesso organizado durante a fase de projeto e engenharia (EIGNER; STELZER, 2009). O PLM expande essa visão para uma estratégia holística que abrange todo o ciclo de vida do ativo, da concepção à desmontagem, integrando horizontalmente todas as fases (projeto, construção, operação, manutenção) e verticalmente todas as disciplinas envolvidas (mecânica, elétrica, automação) e seus sistemas de TI específicos (STARK, 2022).

Em contextos de alta complexidade e customização, como a indústria de plantas de processo (onde projetos são frequentemente "engenharia sob encomenda" – ETO), os desafios de integração de dados são amplificados. A criação e operação desses ativos são caracterizadas por um alto grau de modificações específicas por projeto e esforço de engenharia interdisciplinar, resultando em baixa reusabilidade de dados e na criação de modelos paralelos e

não integrados (submodelos em "silos"). Essa fragmentação dificulta a consistência dos dados, a colaboração eficiente entre as partes interessadas e a manutenção de uma "única fonte da verdade" ao longo do ciclo de vida (FISCHER et al., 2024).

É nesse cenário que plataformas integradas de Engineering Data Management, como a Engineering Base (EB) da Aucotec, se posicionam. Mais do que um sistema PDM tradicional, a EB é uma plataforma de engenharia colaborativa projetada para o ciclo de vida completo de ativos industriais complexos. Sua arquitetura centralizada tem como princípio fundamental a criação e manutenção de um modelo de dados único e multidisciplinar. Diferente de uma abordagem baseada em documentos, onde cada disciplina trabalha em arquivos separados (planilhas, desenhos CAD, listas de cabos), a EB armazena todos os objetos e suas relações (equipamentos, instrumentos, conexões, funções de software) em um banco de dados relacional. Quando um engenheiro modifica um parâmetro – por exemplo, a tag de um instrumento – essa alteração é refletida instantaneamente em todas as visões (elétrica, pneumática, lógica de controle) e listas derivadas, eliminando inconsistências (AUCOTEC, 2025).

A plataforma suporta nativamente o trabalho paralelo de diversas disciplinas (Processo, Mecânica, Eletrotécnica, Instrumentação & Controle, Software de CLP) sobre o mesmo modelo, funcionando como um backbone de dados de engenharia. Isso a qualifica como uma ferramenta essencial para implementar os princípios do PLM no segmento de plantas industriais, assegurando a rastreabilidade, a qualidade dos dados e preparando o terreno para conceitos avançados como o Digital Twin, que depende de dados consistentes do "como-projetado" (as-engineered) e "como-construído" (as-built) (FISCHER et al., 2024; AUCOTEC, 2025).

2.9 VBA

A linguagem Visual Basic for Applications (VBA) é uma ferramenta integrada ao Microsoft Excel que permite a automação de tarefas repetitivas e o desenvolvimento de programas para auxiliar no dimensionamento de sistemas, facilitando cálculos complexos e a criação de interfaces personalizadas para usuários (Sales, 2015).

3 METODOLOGIA

3.1 Definição dos requisitos para modelagem dos IEDs SEL

Dentro do *Part Number* há caracteres posicionados em uma localização específica e com uma codificação específica para representar a estrutura do relé digital da SEL. Cada um desses caracteres pode representar uma estrutura de entrada e saída do relé ou outras especificações do dispositivo. Porém, além dessa codificação por estrutura e especificação, existe uma codificação para cada modelo desse fabricante, os quais são formados por estruturas físicas padrões distintas.

As estruturações dos *Part Number* variam conforme o modelo, com diferentes quantidade de caracteres e codificações diferentes para a posição e o caractere contido nele. A identificação do modelo no *Part Number* está contida nos caracteres iniciais. Com a identificação do modelo do relé digital é possível associar qual tipo de decodificação será utilizada.

Vale salientar, a existência de séries de modelos, os quais têm estruturas físicas e funcionalidades distintas, mas compartilham o mesmo tipo de módulos de entrada, saída e comunicação. Essas séries são definidas pela centena (ou milhar caso tenha) do número contido na definição do modelo do relé digital.

Outro ponto importante, é que a depender de onde seja inserido os módulos de entradas e de saídas no relé digital. A nomenclatura da pinagem irá mudar conforme o slot ao qual essa E/S foi inserida.

Por fim, algumas especificações que estejam associadas a descrição de tensão dos dispositivos são relevantes para a descrição contida em cada parte desse dispositivo. Dessa forma, faz-se necessário trabalhar também com essas parcelas do *Part Number* que defina tais especificações.

3.2 Estrutura de dados necessária

Portanto podemos definir como a estruturação necessária para realização de uma macro que modele todos os relés digitais da SEL os seguintes componentes e suas respectivas codificações para o seu modelo:

- A estrutura base para cada modelo;
- As BI e as BO a serem modeladas por série;
- As portas analógicas;

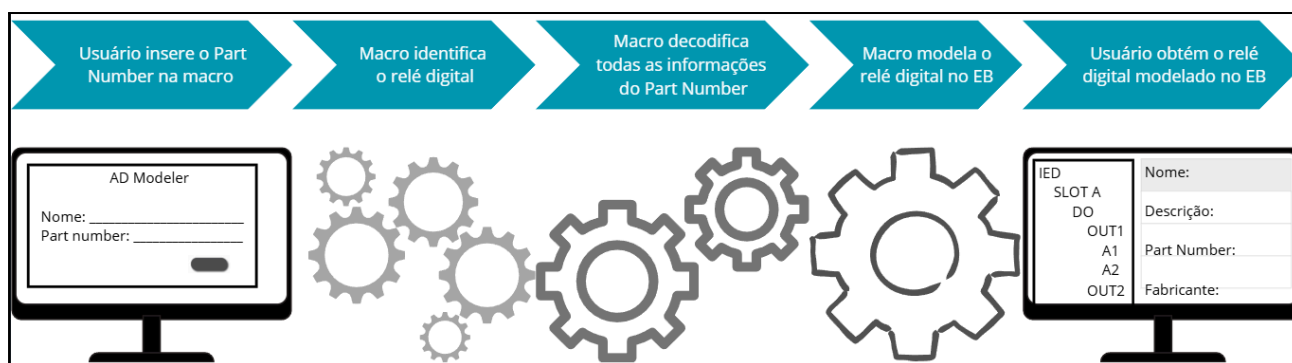
- As portas de comunicação;
- As descrições de tensão;

Dessa forma, inicialmente neste trabalho, foi realizado estudos e mapeamento de cada um desses componentes para a estruturação da macro a ser realizado no *Engineering Base*.

3.3 Estrutura da macro desenvolvida

Na figura 15 está contido o fluxograma da macro a ser desenvolvida por este trabalho. Na parte inicial do fluxograma, à esquerda, podemos ver a tela da macro onde o usuário irá definir o nome do dispositivo dentro do projeto e qual o *Part Number*. Em seguida a macro executa os seguinte passos: identifica qual o modelo do relé digital da SEL; decodifica as informações presentes no *Part Number*; macro modela o relé digital conforme a decodificação realizada sobre o dispositivo.

Figura 15: diagrama esquemático do funcionamento da macro.



Fonte: autor.

3.4 Desenvolvimento da macro

Inicialmente, é preciso mapear todos os modelos de relés digitais da SEL, processo visível na tabela 5. Note que os relés estão classificados conforme a sua aplicação dentro do sistema elétrico e que o mesmo relé pode conter mais de uma aplicação específica. Ao total, há 40 modelos de relés digitais da SEL contabilizados por essa figura.

Em seguida, foram retirados dos manuais de instruções de cada modelo as estruturas padrões, assim como as suas respectivas entradas binárias, analógicas e de comunicação. Esse procedimento é realizado com apoio dos dados disponíveis no site da SEL, em que estão nele descritos também a codificação de cada configuração física do relé digital e de suas propriedades.

Tabela 5: classificação dos relés digitais da SEL quanto a funcionalidade.

Aplicação	Proteção no Domínio do tempo							
IED	SEL-T401L	SEL-T400L						
Aplicação	Proteção de Geradores							
IED	SEL-400G	SEL-700G	SEL-300G	SEL-2664S				
Aplicação	Proteção de Transformadores							
IED	SEL-487E	SEL-787-2/-3/-4	SEL-387E	SEL-387A	SEL-387			
Aplicação	Proteção de Barras							
IED	SEL-487B	SEL-787Z	SEL-587Z	SEL-487E				
Aplicação	Proteção de Linha							
IED	SEL-T401L	SEL-411L	SEL-9L	SEL-421	SEL-787L	SEL-311L	SEL-387L	SEL-311C
Aplicação	Proteção de Alimentadores							
IED	SEL-751	SEL-451	SEL-851	SEL-351S	SEL-551C			
Aplicação	Controles de perdas							
IED	SEL-651R	SEL-651RA	SEL-351RS					
Aplicação	Proteção de Bancos de Capacitores							
IED	SEL-487V							
Aplicação	Proteção de Motores							
IED	SEL-710-5	SEL-849	SEL-700BT					
Aplicação	Sistemas Secundários Digitais							
IED	SEL-TMU	SEL-401	SEL-421	SEL-411L	SEL-451	SEL-487B	SEL-487E	
Aplicação	Controles de Vão							
IED	SEL-2240	SEL-451	SEL-751	SEL-2440				
Aplicação	Detecção de arco elétrico							
IED	SEL-751	SEL-710-5	SEL-851	SEL-849	SEL-787L	SEL-787Z	SEL-751A	
Aplicação	Detecção de condutores abatidos							
IED	SEL-651R	SEL-651RA	SEL-751					

Fonte: autor.

Para retirada das estruturas padrões, foram analisados os exemplos de configurações físicas do relé digital contido no manual de instrução, como representado na figura 16, com as configurações presentes no site do SEL, como representado na figura 17. Dessa forma é possível identificar os *slots*, os cartões e os módulos que são padrões e os que são variáveis. Para esse modelo SEL-400G, percebemos que um módulo de comunicação contornado em vermelho é padrão, já o laranja é definido pelo termo “*Ethernet Connection Options*” presente na seleção do site da SEL. Contornado em verde estão localizados as entradas e saídas digitais, que são todas variáveis definidas pelas seleções: *Slot B*, *Slot B Input Voltage*, *Slot C*, *Slot C Input Voltage*, *Slot D* e *Slot D Input Voltage*. Contornado em azul estão localizados as entradas analógicas que são todas variáveis e definidas pelas seleções: *AC Input Card 1 Configuration (Current Channnels S,T,U)*, (*Voltage Channel V*) e *AC Input Card 2 Configuration (Current Channnels W, X, Y)*, (*Voltage Channel Z*). Por fim, a parte contornada em vermelho na região inferior é padrão do relé e são as entradas de alimentação do dispositivo.

Figura 17: página da SEL para configuração do relé digital SEL-400G.

SEL-400G Advanced Generator Protection System

Part Configuration

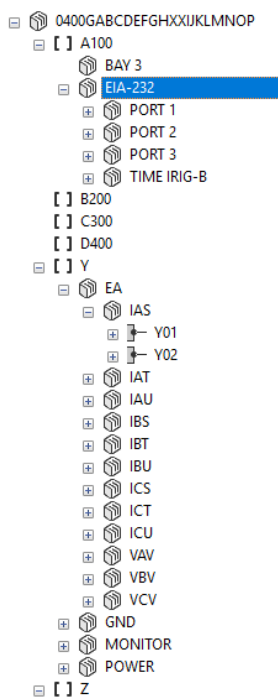
Model ⓘ	Standard	COMPLETE RESET PRINTABLE VERSION HELP
Conformal Coat	No	
Power Supply	24-48 Vdc	
Connector Type ⓘ	Screw Terminal Block	
AC Input Card 1 Configuration (Current Channels S, T, U), (Voltage Channel V)		
S (Three-Phase) = 5 A, T (Three-Phase) = 5 A, U (Three-Phase) = 5 A, V (Phase) = 300 V		
AC Input Card 2 Configuration (Current Channels W, X, Y), (Voltage Channel Z) ⓘ		
W (Three-Phase) = 5 A, X (Three-Phase) = 5 A, Y (Single or Three-Phase) = 5 A, 5 A, 5 A, Z (Three-Phase) = 5 A		
Ethernet Communications Protocols ⓘ	Standard	
Ethernet Connection Options ⓘ	Two 100/1000BASE and Three 100BASE-SFP Ports (Order SFP Transceivers Separately)	
Mounting	Horizontal Rack	
Chassis	8U, Up to Three I/O Boards	
Slot B ⓘ	8 Optoisolated Independent Level-Sensitive Inputs, 13 Standard Form A, 2 Standard Form C Outputs	
Slot B Input Voltage	24 Vdc	
Slot C	8 Optoisolated Independent Level-Sensitive Inputs, 13 High-Current Interrupting Form A, 2 Standard Form C Outputs	
Slot C Input Voltage	24 Vdc	
Slot D	24 Optoisolated Level-Sensitive Inputs, 2 Standard and 6 High-Speed High-Current Interrupting Form A	
Slot D Input Voltage	48 Vdc	
COMPLETE		

Fonte: (Schweitzer Engineering Laboratories 2026h).

Em seguida, foram mapeados todos os tipos de *Slot* para entradas digitais e para saídas digitais com a utilização da configuração “*PRINTABLE VERSION*” de visualização da página de seleção do relé que pode ser visualizado na figura 19. Na qual apresenta a qual caractere do *Part Number* alguma especificação está associada como exemplo o “*Power Supply*” tem o oitavo caractere do *Part Number* com a possibilidade de ser “2”, “4” e “6” e que correspondem às respectivas especificações “24-48 Vdc”, “48-125 Vdc (110-120 Vac)”, “125-250 Vdc (110-240

Vac)". Todos os *Slots* mapeados e as suas respectivas traduções estão presentes no Apêndice A.

Figura 18: relé digital SEL-400G modelado no *Engineering Base*.



Fonte: autor.

Figura 19: parte da página SEL com codificação da configuração do relé SEL-400G.

Configuration Mapping

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Default Digits	0	4	0	0	G										X	X							
Model																							
Standard						0																	
Autosynchronization Control						1																	
Conformal Coat																							
Conformal Coat						2																	
None						X																	
Power Supply																							
24-48 Vdc						2																	
48-125 Vdc (110-120 Vac)						4																	
125-250 Vdc (110-240 Vac)						6																	

Fonte: (Schweitzer Engineering Laboratories 2026h).

Para entradas e saídas analógicas não há necessidade de uma identificação do tipo da porta de forma específica, mas sim das especificações dela. Como a

funcionalidade para medir tensão ou corrente e os níveis de tensão ou corrente ao qual elas suportam, assim como a nomenclatura específica dada a cada porta. Esses itens não foram mapeados, mas inseridos na macro conforme necessário.

Já os módulos de comunicação foram mapeados e estão presentes no Apêndice B. Com todos esses itens mapeados foi possível realizar a construção da macro no EB, a qual foi testada e analisado possíveis erros de execução ou modelagem.

Com esses recursos a disposição, foi possível realizar uma descrição dos módulos de cada um dos equipamentos. Como exemplo podemos observar na figura 20 a interface de atributos do sistema para o módulo A100 do modelo SEL-400G. Nela há o campo “Descrição” ao qual sintetiza todos os tipos de portas existentes no módulo, nesse caso como padrão desse módulo temos “3 Portas EIA-232” e “1 Porta IRIG-B”.

Figura 20 : interface de atributos do sistema para os componentes padrões do módulo A100 do modelo SEL-400G.

▼ Atributos do Sistema	
Parte de	
Nome do Dispositivo	A100
Comentário	
Comentário adicional	
Caractere do Dispositivo	
Tipo	Módulo de equipamento
Modelo de objeto	
Função associada	
Completar a Função Associada	
Bloquear Estrutura	☐
Protegido	☐
▼ Dados da Ordem de compra	
Material	
Descrição curta	Módulos de comunicação
Descrição	3 Portas EIA-232, 1 Porta IRIG-B
Fabricante	SEL
Notas	
Forma de Montagem	
Número do catálogo	
Número UPC/EAN	
Quantidade	

Fonte: autor.

Podemos visualizar a interface da macro na figura 21. Em que estão presentes 5 campos a serem preenchidos: “Nome do D.A.” se refere ao nome do dispositivo no EB; *Long Code* se refere ao *Part Number* a ser utilizado na modelagem; “*Short Code*” se refere ao número do fabricante ou de catálogo; “Escolha o Catálogo dos módulos” se refere a qual banco de dados de módulos serão utilizados para modelagem; “Escolha do Fabricante do D. Automação” se refere ao fabricante do dispositivo de automação a ser modelado.

Figura 21 : interface da macro.

Fonte: autor.

3.5 Avaliação dos benefícios da utilização da macro na rotina do projetista

Neste tópico serão passados os parâmetros de avaliação do benefício de utilização da macro desenvolvida neste trabalho para um projeto de SPCS. Com foco principal em avaliar índices de agilidade, assim como indicadores organizacionais da modelagem de relés digitais SEL.

3.5.1 Tempo de modelagem

Para obtenção do tempo médio de desenvolvimento de um relé digital da SEL, seja ele modelado de forma manual ou automatizada com a macro. Deve-se utilizar a média de tempo entre a modelagem de 3 desses dispositivos com níveis de detalhes diferentes, de modo a variar de um de menor até um com maior detalhamento. Ou seja, escolher dispositivos com poucos slots, portas e pinos para um com pouco detalhamento e com mais número dessas estruturas para um com maior detalhamento. E um terceiro de modo a ser intermediário entre os dois escolhidos anteriormente. Esse procedimento busca definir uma média amostral do tempo de modelagem.

Após obter o tempo médio amostral de modelagem nos modos manual e automatizado, procedeu-se à análise comparativa sob a perspectiva econômica, considerando o custo da hora técnica do engenheiro eletricista. Como referência, adotou-se o Salário Mínimo Profissional estabelecido pela Lei nº 4.950-A/1966, que fixa o piso correspondente a 8,5 salários mínimos para jornada de 8 horas diárias (BRASIL, 1966). Considerando o salário mínimo vigente em 2025 (R\$1.502,00),

obtém-se um piso mensal de R\$12.767,00. Admitindo carga horária mensal de 220 horas, o valor da hora técnica resulta em aproximadamente R\$58,03 por hora. Dessa forma, a redução do tempo de modelagem implica diretamente uma redução proporcional no custo associado à mão de obra especializada.

3.5.2 Redução de imprecisões na modelagem manual

Para essa parte da avaliação serão utilizados os relés presentes no banco de dados de uma empresa e o padrão proposto pela macro, para avaliar qualitativamente a modelagem. Como forma de classificar essa imprecisão serão considerados: a ausência de informações nos atributos do dispositivo; a ausência de estruturas e a alocação não intuitiva de partes do dispositivo. De modo a quantificar em percentual a melhoria da utilização da macro.

3.5.3 Nível de padronização obtido em relação ao processo tradicional

Com os critérios de imprecisões os relés digitais serão agrupados pelo mesmo tipo de padrão estrutural na modelagem e dispostos em percentuais conforme cada variação existente. De modo a evidenciar a quantidade de variações e a predominância de cada um dentro da amostragem.

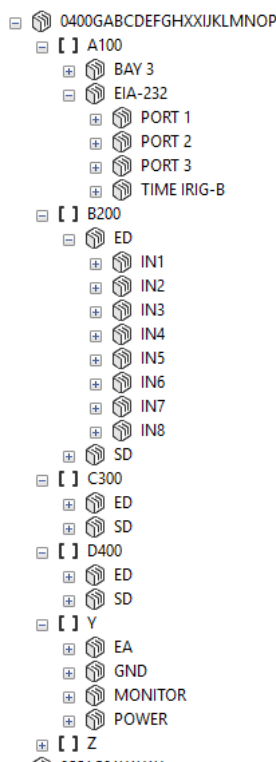
Na próxima seção será demonstrado a realização de um exemplo de modelagem realizado pela macro e serão metrificados os benefícios resultantes da aplicação da macro na modelagem dos IED digitais da SEL no software EB.

4 RESULTADOS E ANÁLISE

4.1 Resultado da modelagem do dispositivo 0400G0X2X11B9XXH8244484

Parte do resultado da modelagem de um relé digital do modelo SEL-400G com o Part Number 0400G0X2X11B9XXH8244484 pode ser analisada na figura 22.

Figura 22 : visão geral da modelagem do dispositivo do modelo SEL-400G com Part Number 0400G0X2X11B9XXH8244484.



Fonte: autor.

Ao compararmos com a estrutura padrão presente na figura 18 observamos que foram inseridas as seguintes estruturas variáveis definidas pelo *Part Number*:

- Power Supply: 24-48 Vdc.
- AC Input Card 1 Configuration (Current Channels S, T, U), (Voltage Channel V): S (Three-Phase) = 5 A, T (Three-Phase) = 5 A, U (Three-Phase) = 5 A, V (Phase) = 300 V.
- AC Input Card 2 Configuration (Current Channels W, X, Y), (Voltage Channel Z): W (Three-Phase) = 5 A, X (Three-Phase) = 5 A, Y (Single or Three-Phase) = 5 A, 5 A, 5 A, Z (Three-Phase) = 300 V.

- Ethernet Connection Options: Two 100/1000BASE and Three 100BASE-SFP Ports (Order SFP Transceivers Separately).
- Slot B: 8 Optoisolated Independent Level-Sensitive Inputs, 13 Standard Form A, 2 Standard Form C Outputs.
- Slot B Input Voltage: 125 Vdc.
- Slot C: 24 Optoisolated Level-Sensitive Inputs, 2 Standard and 6 High-Speed High-Current Interrupting Form A Outputs.
- Slot C Input Voltage: 125 Vdc.
- Slot D: 8 Optoisolated Independent Level-Sensitive Inputs, 8 High-Speed High-Current Interrupting Form A Outputs.
- Slot D Input Voltage: 125 Vdc.

Além das estruturas foram inseridas também a descrição com a sua devida tradução de cada componente do relé, como pode ser visualizado na figura 23.

Figura 23 : interface de atributos do sistema para o módulo A100 do modelo SEL-400G com Part Number 0400G0X2X11B9XXH8244484.

▼ Atributos do Sistema	
Parte de	0400GABCEFGHXXUKLMNOP
Nome do Dispositivo	A100
Comentário	
Comentário adicional	
Caractere do Dispositivo	
Tipo	Módulo de equipamento
Modelo de objeto	
Função associada	
Completar a Função Associada	
Tarefa associada	
Bloquear Estrutura	☐
Protegido	☐
▼ Dados da Ordem de compra	
Material	
Descrição curta	Módulos de comunicação
Descrição	3 Portas EIA-232, 1 Porta IRIG-B, 2 Portas 100/1000BASE e 3 Portas 100BASE-SFP.
Fabricante	SEL
Notas	
Forma de Montagem	
Número do catálogo	
Número UPC/EAN	
Quantidade	

Fonte: autor.

4.2 Benefícios da macro

4.2.1 Tempo de modelagem

Para obtenção do tempo médio de modelagem dos relés digitais da SEL de modo manual foram utilizados os seguintes modelos de relés: SEL-787-2/-3/-4; SEL-421; SEL-551C. Conforme a ordem que eles foram apresentados podemos classificá-los como grande, médio e pequeno, com base na quantidade de *slots*

presentes em cada um desses dispositivos. O *Part Number* para cada um dos relés foi: 07872EE1A2C6X78810410; 04214211XB1X1H6431XXX; 0551C01X1X1X. Podemos visualizar pela Tabela 6 os tempos de modelagem de cada um dos modelos. Ao tirar a média aritmética dos tempos obtemos o valor de 01:04:08, que indica um tempo médio amostral de modelagem desses dispositivos considerando que haja uma distribuição próxima dos valores de cada classificação.

Tabela 6: tempos de modelagem dos relés de modo manual

Relé	07872EE1A2C6X78810410	04214211XB1X1H6431XXX	0551C01X1X1X
Tempo de modelagem	01:32:06	01:10:42	00:29:37

Fonte: Autor

Sobre uma visão econômica dessa aplicação dentro de um projeto percebemos que será preciso destinar 1 engenheiro para a modelagem desse dispositivo por 01:04:08. Ao calcular o valor de custo desse engenheiro nesse tempo com o valor de R\$58,03 hora, obtemos o valor de R\$62,02 para a modelagem de um desses relés digitais da SEL no *Engineering Base*.

Fica evidente no Apêndice C que existem 40 modelos cada um com algumas variações de entradas e saídas, podemos concluir que no mínimo essa macro seria avaliada em R\$2480,80. Sem considerar os benefícios de abranger todas as variações de cada modelo, a padronização profissional em todos os relés e ainda na possibilidade de evitar possíveis modelagens duplicadas do mesmo relé.

Para o processo de utilização da macro na modelagem dos 3 dispositivos especificados foram obtidos os tempos contidos na tabela 7. Os quais constam uma redução de tempo significativa ao reduzir a magnitude do tempo de horas para segundos. Ao realizar a média dos valores médios de modelagem com macro é obtido o valor de 23,26 segundos. Logo, a economia de tempo em média para o desenvolvimento da modelagem de um relé digital da SEL gira em torno de 1 hora.

Tabela 7: tempos de modelagem dos relés com macro.

Relé Digital	0551C01X1X1X	04214211XB1X1H6431XXX	07872EE1A2C6X78810410
Tempo 1	00:16.22	00:34.07	00:25.87
Tempo 2	00:13.87	00:29.44	00:24.68

Tempo 3	00:12.73	00:28.59	00:23.94
Média	00:14.27	00:30.7	00:24.83

Fonte: autor.

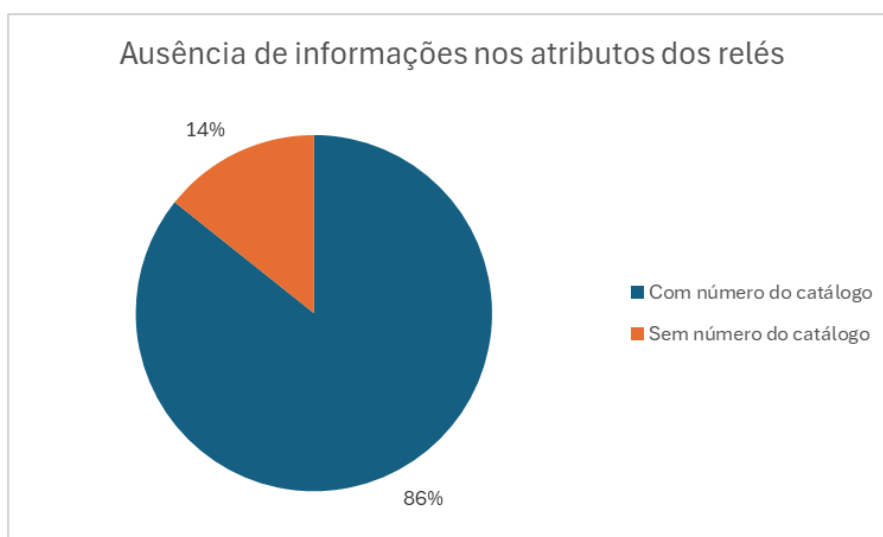
4.2.2 Redução de imprecisões na modelagem manual

Neste tópico, foi avaliado como um ambiente com diversos engenheiros trabalhando em projetos de SPCS no *Engineering Base* podem existir algumas imprecisões na modelagem de relés digitais da SEL. Para esse caso foram avaliados todos os dispositivos que estavam modelados no banco de dados fonte (com uma contabilização total de 7 dispositivos) e foram avaliados os seguintes parâmetros: ausência de informações nos atributos dos relés; ausência de estruturas no relés; alocação não intuitiva de partes dos relés.

Para avaliar a ausência de informações nos atributos dos relés digitais, foram verificados de modo minucioso todos os atributos presentes em todos relés digitais. E percebeu que apenas um deles não continham a informação do *Part Number* do dispositivo. Esse resultado foi expresso na figura 23, em que representou uma imprecisão de 14% dos relés modelados para esse aspecto.

Figura 23 : gráfico sobre ausência de informações nos atributos dos relés:

Ausência de informações nos atributos.

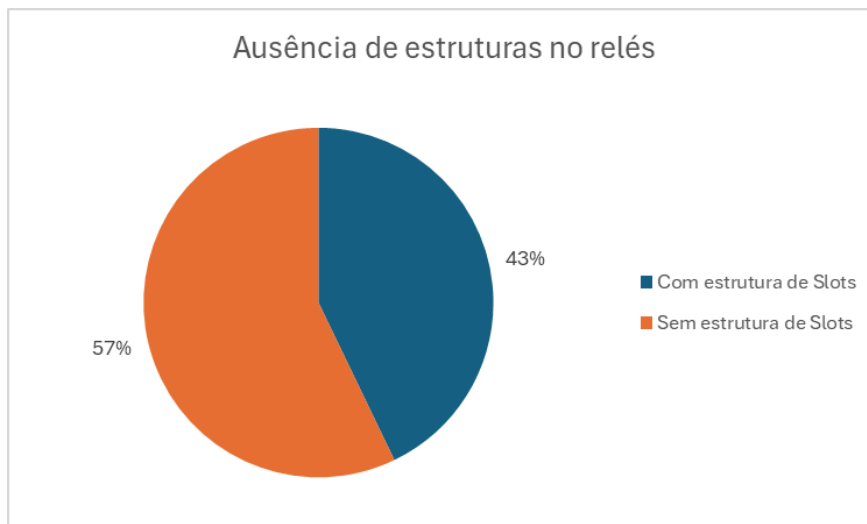


Fonte: autor.

Para avaliar a ausência de estruturas no relés, foram verificadas de modo minucioso todas as partes presentes em todos relés digitais. E percebeu que quatro deles não continham a estrutura do dispositivo separada por *Slots*. Esse resultado

foi expresso na figura 24, em que representou uma imprecisão de 57% dos relés modelados para esse aspecto.

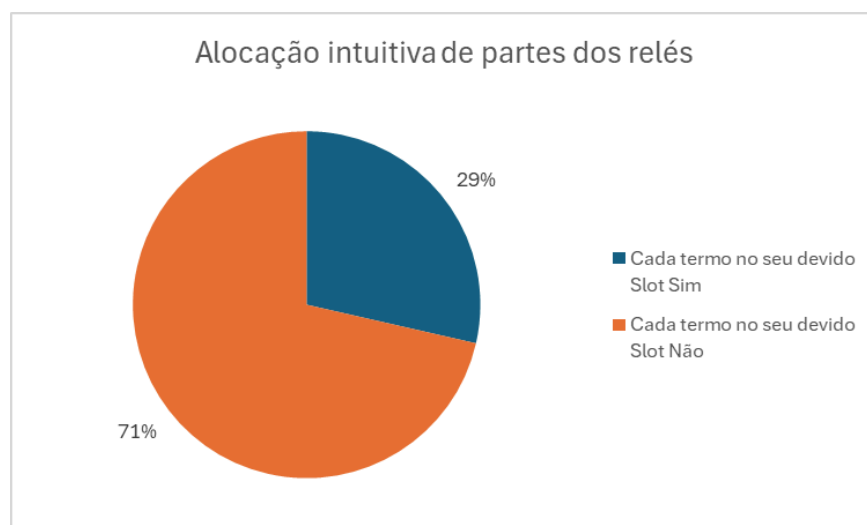
Figura 24 : gráfico sobre ausência de informações nos atributos dos relés:
Ausência de estruturas no relés.



Fonte: autor.

Para avaliar a alocação não intuitiva de partes dos relés, foram verificadas de modo minucioso todas as partes presentes em todos relés digitais. E percebeu que cinco deles não continham a estrutura de *Slot* com todos os seus componentes presentes, ou seja, as partes que eram para ser filhos do *Slot* estavam no mesmo nível hierárquico desse. Esse resultado foi expresso na figura 25, em que representou uma imprecisão de 71% dos relés modelados para esse aspecto.

Figura 25 : gráfico sobre ausência de informações nos atributos dos relés:
Alocação intuitiva de partes dos relés.



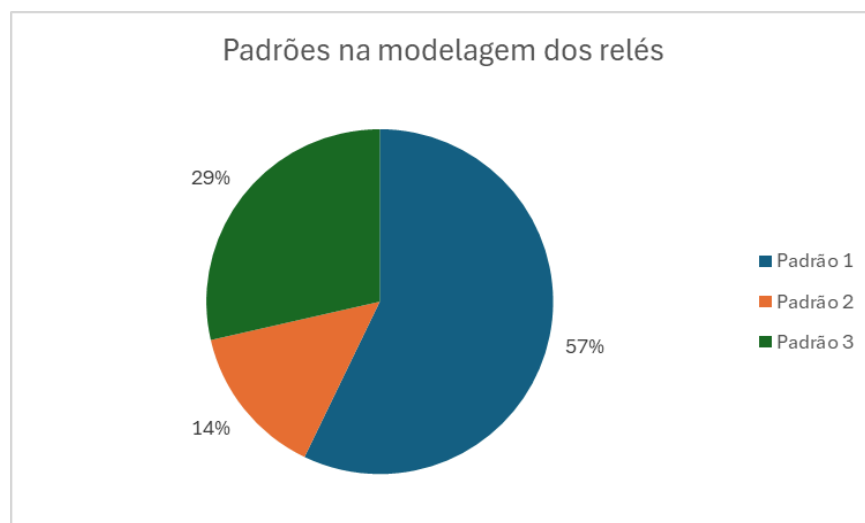
Fonte: autor.

4.2.3 Nível de padronização obtido em relação ao processo tradicional

Para esse parâmetro foram trabalhados a seleção de padrões de modelagem com base no tipo de imprecisão que cada uma continha ou na ausência dela. E como resultado foram definidos três padrões, representados na figura 26:

- Padrão 1: Sem estrutura de *Slots*, sem alocação intuitiva e com *Part Number*
- Padrão 2: Com estrutura de *Slots*, sem alocação intuitiva e sem *Part Number*
- Padrão 3: Com estrutura de *Slots*, com alocação intuitiva e com *Part Number*

Figura 26 : gráfico sobre ausência de informações nos atributos dos relés:
Padrões na modelagem dos relés.



Fonte: autor.

Vale salientar que dentre esses padrões o que deve ser considerado como sem imprecisões na modelagem é o padrão 3. Logo podemos afirmar que 29% desses relés foram modelados sem imprecisões. Outra evidência presente nessa análise dos padrões é que algumas pequenas imprecisões podem gerar vários tipos de padrões de modelagem. Dessa forma, essa variação dificulta a definição de um modelo a ser seguido para a modelagem dos dispositivos seguintes.

Um fator importante a ser ressaltado é que a falta de padronização em projetos de engenharia descredibiliza de certa forma o nível da entrega da empresa para o cliente. E logo deve ser um fator a ser priorizado pela empresa, para manter a entrega dos seus produtos em alto nível.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho evidenciou a complexidade inerente às especificações técnicas presentes em dispositivos de automação, em especial nos relés digitais utilizados em Sistemas de Proteção, Controle e Supervisão (SPCS). A partir do aprofundamento conceitual realizado ao longo da fundamentação teórica, tornou-se possível compreender o elevado nível de detalhamento exigido no processo de modelagem desses dispositivos, bem como os desafios associados à sua implementação em ambientes de engenharia assistida por computador, como o software *Engineering Base PTD*.

Nesse contexto, ficou claramente demonstrado que o processo de modelagem manual de IEDs é não apenas trabalhoso, mas também suscetível a inconsistências, omissões de informações e alocações imprecisas de atributos técnicos. Tal constatação foi confirmada por meio da contabilização do tempo necessário para a modelagem manual dentro do *Engineering Base*, o qual foi posteriormente confrontado com o tempo e a qualidade obtidos a partir da modelagem automatizada por meio da macro desenvolvida neste trabalho.

Para avaliar de forma objetiva os benefícios da automação proposta, foram considerados três aspectos principais: o tempo de modelagem, a redução de imprecisões decorrentes do processo manual e o nível de padronização alcançado em relação ao método tradicional. No que se refere ao tempo de modelagem, observou-se uma redução aproximada de uma hora por dispositivo modelado, evidenciando um ganho significativo de produtividade. Em relação à redução de imprecisões, constatou-se a correção de erros relevantes, especialmente aqueles relacionados à ausência de informações obrigatórias e à alocação incorreta de parâmetros técnicos durante a modelagem manual dos relés. Por fim, quanto ao nível de padronização, foi possível quantificar a diminuição das variações na modelagem, classificadas de acordo com os tipos de imprecisões identificadas nos dispositivos analisados.

Dessa forma, os resultados obtidos permitem concluir que a utilização da macro desenvolvida para a modelagem de relés digitais da SEL em projetos de SPCS proporciona ganhos expressivos tanto em termos de tempo quanto de

padronização do processo de engenharia. Como consequência direta desses ganhos, observa-se uma economia financeira mínima estimada em R\$2.480,80, associada à redução da quantidade de engenheiros necessários exclusivamente para atividades de modelagem, bem como à valorização dos projetos entregues, decorrente da maior qualidade e consistência técnica proporcionadas pela padronização adequada dos dispositivos.

Além disso, a aplicação do *software Engineering Base* associada a múltiplas automações desse tipo aponta para uma nova forma de concepção e execução de projetos de SPCS, caracterizada por maior agilidade, eficiência e racionalização de recursos. A automação de atividades extensas e repetitivas permite que o engenheiro concentre seus esforços em tarefas de maior valor agregado, como a análise técnica, a tomada de decisões de projeto e a resolução de problemas específicos, elevando o nível técnico global dos empreendimentos desenvolvidos.

Sob a perspectiva da Indústria 4.0, destaca-se ainda a importância da estruturação de ambientes de *Product Data Management* (PDM) capazes de viabilizar a aplicação de conceitos de *Product Lifecycle Management* (PLM). Tal estruturação configura-se como uma condição estratégica para a integração de dados, processos e pessoas em um fluxo contínuo de inovação. Essa integração não apenas otimiza a gestão do ciclo de vida dos produtos, como também fortalece a tomada de decisão, reduz custos operacionais e amplia a competitividade das organizações em um cenário cada vez mais digitalizado e dinâmico.

Ressalta-se, entretanto, que a macro desenvolvida apresenta limitações, como sua abrangência restrita a dispositivos do fabricante SEL e a necessidade de atualizações periódicas em função de alterações no catálogo de equipamentos. Ainda assim, tais limitações não comprometem a relevância do trabalho, uma vez que a expansão da solução para outros fabricantes e a manutenção evolutiva da macro configuram oportunidades claras para trabalhos futuros, com elevado potencial de aplicação no mercado de engenharia de subestações.

Por fim, destaca-se que a implementação da macro resultou em um código com mais de 12.000 linhas, evidenciando a complexidade do desenvolvimento realizado. Esse volume de código poderia ser reduzido e aprimorado por meio da

adoção de arquiteturas de software mais estruturadas, como padrões de projeto orientados a objetos ou o uso de frameworks específicos para automação. Trabalhos futuros podem explorar a modularização do código, a criação de bibliotecas reutilizáveis e a integração com linguagens de programação mais modernas, visando maior eficiência, facilidade de manutenção e escalabilidade da solução. Adicionalmente, a adoção de metodologias ágeis e ferramentas de versionamento de código pode contribuir para o aprimoramento do processo de desenvolvimento e facilitar a colaboração entre equipes multidisciplinares.

REFERÊNCIA

SCHWAB, Klaus. **A quarta revolução industrial**. Tradução de Daniel Moreira Miranda. São Paulo: Edipro, 2016. Título original: The Fourth Industrial Revolution.

AUCOTEC AG. **Engineering Base** - The collaborative engineering platform. Hannover, Alemanha, 2025. Disponível em: <https://www.aucotec.com/en/engineering-base>. Acesso em: out. 2025.

DUARTE, Antônio Carlos da Rocha. **Equipamentos de geração e transmissão: conceitos e critérios**. 1. ed. São Paulo: Artliber Editora, 2018. 440 p. (Introdução à proteção de sistemas elétricos de potência).

KINDERMANN, Geraldo. **Proteção de sistemas elétricos de potência**. Florianópolis, SC: Edição do autor, 2012. v. 1.

MAMEDE FILHO, João; MAMEDE, Daniel Ribeiro. **Proteção de sistemas elétricos de potência**. Reimpr. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

SCHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES (SEL). **Tabela ANSI**. Campinas, SP: SEL, 2025a. Disponível em: <https://selinc.com/pt/products/tables/ansi/>. Acesso em: 24 dez. 2025.

SCHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES (SEL). **SEL-387E Current Differential and Voltage Relay** (Datasheet). Pullman, WA: SEL, 2022. Disponível em: <https://selinc.com/api/download/3024/>. Acesso em: 27 dez. 2025

SCHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES (SEL). **SEL-300G Generator Relay** (Datasheet). Pullman, WA: SEL, 2021. Disponível em: <https://selinc.com/api/download/2858/>. Acesso em: 27 dez. 2025.

SCHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES (SEL). **SEL-710-5 Motor Protection Relay** (Datasheet). Pullman, WA: SEL, 2025b. Disponível em: <https://selinc.com/api/download/102315/>. Acesso em: 27 dez. 2025.

SCHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES (SEL). **SEL-351S Protection System** (Datasheet). Pullman, WA: SEL, 2024. Disponível em: <https://selinc.com/api/download/5514/>. Acesso em: 27 dez. 2025.

SCHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES (SEL). **SEL-787L Line Current Differential Relay** (Datasheet). Pullman, WA: SEL, 2025c. Disponível em: <https://selinc.com/api/download/138589/>. Acesso em: 27 dez. 2025.

SCHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES (SEL). **SEL-487E-3, -4 Transformer Protection Relay** (Datasheet). Pullman, WA: SEL, 2025d. Disponível em: <https://selinc.com/api/download/99384/>. Acesso em: 27 dez. 2025.

SCHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES (SEL). **SEL-487V Capacitor Protection and Control System** (Datasheet). Pullman, WA: SEL, 2025e. Disponível em: <https://selinc.com/api/download/6603/>. Acesso em: 27 dez. 2025.

PHADKE, Arun G. **Computer Relaying for Power Systems**. 2. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2009.

SCHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES (SEL). **Time-Domain Line Protection**. Pullman, WA, 2026a. Disponível em: <https://selinc.com/solutions/time-domain-line-protection/>. Acesso em: 5 jan. 2026.

SCHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES (SEL). **SEL-T401L Ultra-High-Speed Line Relay** (Datasheet). Pullman, WA, 2025f. Disponível em: <https://selinc.com/api/download/131997/>. Acesso em: 27 dez. 2025.

SCHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES (SEL). **SEL-651RA Recloser Control**. Pullman, WA, 2026b. Disponível em: <https://selinc.com/products/651ra/>. Acesso em: 5 jan. 2026.

SCHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES (SEL). **SEL-421 Protection System**. Pullman, WA, 2026c. Disponível em: <https://selinc.com/products/421/>. Acesso em: 5 jan. 2026.

SCHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES (SEL). **SEL-451 Protection System**. Pullman, WA, 2026d. Disponível em: <https://selinc.com/products/451/>. Acesso em: 5 jan. 2026.

SCHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES (SEL). **SEL-710-5 Motor Protection Relay**. Pullman, WA, 2026e. Disponível em: <https://selinc.com/products/710-5/>. Acesso em: 6 jan. 2026.

SCHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES (SEL). **SEL-751 Feeder Protection Relay**. Pullman, WA, 2026f. Disponível em: <https://selinc.com/products/751/>. Acesso em: 6 jan. 2026.

SCHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES (SEL). **Protective Relays**. Pullman, WA, 2026g. Disponível em: <https://selinc.com/products/categories/protective-relays/>. Acesso em: 6 jan. 2026.

SCHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES (SEL). **SEL-400G Advanced Generator Protection System Instruction Manual**. Pullman, WA, 2025g. Disponível em: <https://selinc.com/api/download/130743/>. Acesso em: 20 dez. 2025.

SCHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES (SEL). **SEL-787-2, -3, -4 Transformer Protection Relays Instruction Manual**. Pullman, WA, 2025h. Disponível em: <https://selinc.com/api/download/106698/>. Acesso em: 20 dez. 2025.

SCHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES (SEL). **SEL-710-5 Motor Protection Relay Instruction Manual**. Pullman, WA, 2025i. Disponível em: <https://selinc.com/api/download/102318/>. Acesso em: 20 dez. 2025.

SILVA, Vinicius Luis da. **Protocolos de proteção Ethernet**. 2014. 52 f. Monografia (Graduação em Tecnologia em Segurança da Informação) – Faculdade de

Tecnologia de Americana – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, Americana, 2014.

FEY, Ademar Felipe; GAUER, Raul Ricardo. **Cabeamento Estruturado**: da teoria à prática. 2. ed. Caxias do Sul: [s.n.], 2014. 254 p.

SILVA, Luiz Antonio Ferreira da. **Análise de desempenho de protocolos de transporte para redes de alta velocidade**. 2006. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

SCHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES (SEL). **SEL adds TiDL and Sampled Values technologies to SEL-411L line protection system**. Pullman, WA, 2023. Disponível em: <https://selinc.com/company/news/134774/>. Acesso em: 7 jan. 2026.

PROPEL SOFTWARE. **Part Numbering**. Redwood City, CA, [s.d.]. Disponível em: <https://www.propelsoftware.com/glossary/part-numbering>. Acesso em: 16 dez. 2025.

EIGNER, M.; STELZER, R. **Product Lifecycle Management**: Ein Leitfaden für Product Development und Life Cycle Management. 2. ed. Berlin: Springer, 2009.

STARK, J. **Product Lifecycle Management**: Volume 1: 21st Century Paradigm for Product Realisation. 5. ed. Cham: Springer, 2022.

FISCHER, K. et al. **Data management of process plants as complex systems**: systematic literature review and identification of challenges and opportunities. *Reviews in Chemical Engineering*, [S. l.], v. 40, n. 4, p. 533–551, 2024. DOI: 10.1515/revce-2022-0077. Disponível em: <https://www.degruyterbrill.com/document/doi/10.1515/revce-2022-0077/html>. Acesso em: 28 dez. 2025.

BRASIL. **Lei nº 4.950-A**, de 22 de abril de 1966. Dispõe sobre a remuneração de profissionais diplomados em Engenharia, Química, Arquitetura, Agronomia e Veterinária. *Diário Oficial da União*: Brasília, DF, 26 abr. 1966. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br>. Acesso em: 23 fev. 2026.

SALES, Anderson Rodrigo. **Desenvolvimento de uma planilha eletrônica em VBA para o dimensionamento didático de instalações de recalque de água**. 2015. 62 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/139114>. Acesso em: 18 dez. 2025.

Schweitzer Engineering Laboratories, Inc. **SEL-400G Advanced Generator Protection System: part configuration**. Pullman, WA: Schweitzer Engineering Laboratories, Inc., 2026h. Disponível em: . Acesso em: 6 jan. 2026.

SCHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES, Inc. **SEL-400G Advanced Generator Protection System**. Pullman, WA: Schweitzer Engineering Laboratories, 2026i. Disponível em: <<https://selinc.com>>. Acesso em: 6 jan. 2026.

Apêndice A

Inglês	Português
8 Optoisolated Independent Level-Sensitive Inputs, 13 Standard Form A, 2 Standard Form C Outputs	8 Entradas Independentes Nível-Sensível Optoisoladas, 13 Saídas Padrão NA (Forma A), 2 Saídas Padrão NA/NF (Forma C)
24 Optoisolated Level-Sensitive Inputs, 2 Standard and 6 High-Speed High-Current Interrupting Form A Outputs	24 Entradas Nível-Sensível Optoisoladas, 2 Saídas Padrão e 6 Saídas NA (Forma A) de Alta Velocidade e Alta Capacidade de Interrupção
6 High Speed and 2 Standard Output Contacts	6 Contatos de Saída de Alta Velocidade e 2 Contatos de Saída Padrão
18 Common Inputs, 6 Independent Inputs, 6 High-Speed High-Current Interrupting Form A Outputs, 2 Standard Form A Outputs	18 Entradas Comuns, 6 Entradas Independentes, 6 Saídas NA (Forma A) de Alta Velocidade e Alta Capacidade de Interrupção, 2 Saídas Padrão NA (Forma A)
18 Common and 6 Independent Optoisolated Level-Sensitive Inputs, 6 High-Speed High-Current Interrupting Form A Outputs, 2 Standard Form A Outputs	18 Entradas Comuns e 6 Independentes Nível-Sensível Optoisoladas, 6 Saídas NA (Forma A) de Alta Velocidade e Alta Capacidade de Interrupção, 2 Saídas Padrão NA (Forma A)
18 Common and 6 Independent Optoisolated Level-Sensitive Inputs, 6 High-Speed High-Current	18 Entradas Comuns e 6 Independentes Nível-Sensível Optoisoladas, 6 Saídas NA (Forma A)

Interrupting Polarity-Sensitive Form A Outputs, 2 Standard Form A Outputs	de Alta Velocidade, Alta Capacidade de Interrupção e Polaridade-Sensível, 2 Saídas Padrão NA (Forma A)
8 Optoisolated Independent Level-Sensitive Inputs, 13 High-Current Interrupting Form A, 2 Standard Form C Outputs	8 Entradas Independentes Nível-Sensível Optoisoladas, 13 Saídas NA (Forma A) de Alta Capacidade de Interrupção, 2 Saídas Padrão NA/NF (Forma C)
8 Independent Inputs, 13 High-Current Interrupting Form A, 2 Standard Form C Outputs	8 Entradas Independentes, 13 Saídas NA (Forma A) de Alta Capacidade de Interrupção, 2 Saídas Padrão NA/NF (Forma C)
8 Independent Inputs, 13 Standard Form A, 2 Standard Form C Outputs	8 Entradas Independentes, 13 Saídas Padrão NA (Forma A), 2 Saídas Padrão NA/NF (Forma C)
8 Optoisolated Independent Level-Sensitive Inputs, 8 High-Speed High-Current Interrupting Form A Outputs	8 Entradas Independentes Nível-Sensível Optoisoladas, 8 Saídas NA (Forma A) de Alta Velocidade e Alta Capacidade de Interrupção
8 Optoisolated Independent Level-Sensitive Inputs, 8 High-Speed High-Current Interrupting Polarity-Sensitive Form A Outputs	8 Entradas Independentes Nível-Sensível Optoisoladas, 8 Saídas NA (Forma A) de Alta Velocidade, Alta Capacidade de Interrupção e Polaridade-Sensível
24 Optoisolated Level-Sensitive Inputs, 8 Standard Form A Outputs	24 Entradas Nível-Sensível Optoisoladas, 8 Saídas Padrão NA (Forma A)
24 Optoisolated Level-Sensitive Inputs, 8 Outputs	24 Entradas Nível-Sensível Optoisoladas, 8 Saídas

8 Standard Output Contacts	8 Contatos de Saída Padrão
18 Common Inputs, 6 Independent Inputs, 8 Standard Form A Outputs	18 Entradas Comuns, 6 Entradas Independentes, 8 Saídas Padrão NA (Forma A)
Auxiliary Trip/Close Pushbuttons, 24 Optoisolated Level-Sensitive Inputs, 4 High-Current Interrupting Form A Outputs	Botoeiras Auxiliares de Desligamento (Trip)/Partida (Close), 24 Entradas Nível-Sensível Optoisoladas, 4 Saídas NA (Forma A) de Alta Capacidade de Interrupção
Auxiliary Trip/Close Pushbuttons With Guards, 24 Optoisolated Level-Sensitive Inputs, 4 High-Current Interrupting Form A Outputs	Botoeiras Auxiliares de Desligamento/Partida com Proteções (Guards), 24 Entradas Nível-Sensível Optoisoladas, 4 Saídas NA (Forma A) de Alta Capacidade de Interrupção
8 Independent Inputs, 8 High-Speed High-Current Interrupting Form A Outputs	8 Entradas Independentes, 8 Saídas NA (Forma A) de Alta Velocidade e Alta Capacidade de Interrupção
20 Standard Outputs, 14 Inputs (12 outputs are configurable, Form A or Form B)	20 Saídas Padrão, 14 Entradas (12 saídas são configuráveis, Forma A ou Forma B)
8 Inputs, 12 Standard Outputs	8 Entradas, 12 Saídas Padrão
Additional 12 Std Outputs, 8 Inputs	12 Saídas Padrão Adicionais, 8 Entradas
8 Inputs, 8 High-Speed High-Current Interrupting Outputs	8 Entradas, 8 Saídas de Alta Velocidade e Alta Capacidade de Interrupção

Additional 8 High-Speed, High I/C Outputs, 8 Inputs	8 Saídas Adicionais de Alta Velocidade e Alta Capacidade de Interrupção (High I/C), 8 Entradas
8 Standard Outputs, 12 High I/C Outputs, 14 Inputs (12 outputs are configurable, Form A or Form B)	8 Saídas Padrão, 12 Saídas de Alta Capacidade de Interrupção (High I/C), 14 Entradas (12 saídas são configuráveis, Forma A ou Forma B)
Additional 12 High I/C Outputs, 8 Inputs	12 Saídas de Alta Capacidade de Interrupção (High I/C) Adicionais, 8 Entradas
Additional 4 Std Outputs, 16 Inputs	4 Saídas Padrão Adicionais, 16 Entradas
Four 12 Vdc Inputs, Five Standard Outputs, and One Alarm Output	Quatro Entradas 12 Vcc, Cinco Saídas Padrão e Uma Saída de Alarme
One 12 Vdc Input, One Standard Output, and One Alarm Output	Uma Entrada 12 Vcc, Uma Saída Padrão e Uma Saída de Alarme
(7) 12 Vdc Inputs/(8) Standard Outputs	(7) Entradas 12 Vcc / (8) Saídas Padrão
1 Amp Neutral AC Current Input (SELECT 1 ACI)	Entrada de Corrente AC de Neutro 1 Ampère (SELEZIONE 1 ACI)
1 Amp Neutral AC Current Input / 3-Phase AC Voltage (300 Vac) Inputs (SELECT 1 ACI / 3 AVI)	Entrada de Corrente AC de Neutro 1 Ampère / Entradas de Tensão AC Trifásica (300 Vca) (SELEZIONE 1 ACI / 3 AVI)
10 RTD Inputs	10 Entradas para RTD (Detector de Temperatura por Resistência)
14 DI	14 Entradas Digitais (DI)

1-Neutral Rogowski Coil or Low Power Current Transformer (RJ45 Inputs) / 3-Phase LEA Voltage Sensor (SELECT 1 ACI / 3 AVI)	Bobina de Rogowski ou Transformador de Corrente de Baixa Potência para Neutro (Entradas RJ45) / Sensor de Tensão LEA Trifásico (SELECIONE 1 ACI / 3 AVI)
1-Neutral Rogowski Coil or Low Power Current Transformer (RJ45 Inputs)(SELECT 1 ACI)	Bobina de Rogowski ou Transformador de Corrente de Baixa Potência para Neutro (Entradas RJ45) (SELECIONE 1 ACI)
3 AVI / 4 AFDI (300 Vac) / 4 Arc-Flash Detection Inputs	3 Entradas de Tensão Analógica (AVI) / 4 Entradas para Detecção de Arco Elétrico (AFDI) (300 Vca) / 4 Entradas para Detecção de Arco Elétrico
3 DI / 4 DO / 1 AO (4–20 mA range)	3 Entradas Digitais (DI) / 4 Saídas Digitais (DO) / 1 Saída Analógica (AO) (faixa 4–20 mA)
3 Synchronous Motor Inputs / 3 Motor DIFF AC Current Inputs (1A/5A)	3 Entradas para Motor Síncrono / 3 Entradas de Corrente AC para proteção Diferencial de Motor (1A/5A)
3AVI (300 Vac) / Vsync (300 Vac) / Vbat (300 Vdc) / 1 ACI (1 A residual)	3 Entradas de Tensão Analógica - AVI (300 Vca) / Vsync (300 Vca) / Vbat (300 Vcc) / 1 Entrada de Corrente Analógica - ACI (residual 1 A)
3AVI (300 Vac) / Vsync (300 Vac) / Vbat (300 Vdc) / Advanced Metering and Protection Package	3AVI (300 Vca) / Vsync (300 Vca) / Vbat (300 Vcc) / Pacote Avançado de Medição e Proteção
3AVI (300 Vac) / Vsync (300 Vac) / Vbat (300 Vdc) / Monitoring Package	3AVI (300 Vca) / Vsync (300 Vca) / Vbat (300 Vcc) / Pacote de Monitoramento

3-Phase 1 Amp AC Current Input / 3-Phase AC Voltage (300 Vac) and Vsync/Vbat Inputs (300 V) (SELECT 3 ACI / 4 AVI)	Entrada de Corrente AC Trifásica 1 Ampère / Entradas de Tensão AC Trifásica (300 Vca) e Vsync/Vbat (300 V) (SELECIONE 3 ACI / 4 AVI)
3-Phase 1 Amp AC Current Input / 1 Amp Neutral AC Current Input / 3-Phase AC Voltage (300 Vac) Inputs (SELECT 4 ACI / 3 AVI)	Entrada de Corrente AC Trifásica 1 Ampère / Entrada de Corrente AC de Neutro 1 Ampère / Entradas de Tensão AC Trifásica (300 Vca) (SELECIONE 4 ACI / 3 AVI)
3-Phase 1 Neutral Rogowski Coil Or Low Power Current Transformer (RJ45 Inputs) / 3-Phase LEA Voltage Sensor (RJ45 Inputs) (SELECT 4 ACI / 3 AVI)	Bobina de Rogowski ou Transformador de Corrente de Baixa Potência Trifásico + Neutro (Entradas RJ45) / Sensor de Tensão LEA Trifásico (Entradas RJ45) (SELECIONE 4 ACI / 3 AVI)
3-Phase AC Voltage (300 Vac)	Tensão CA Trifásica (300 Vca)
3-Phase Rogowski Coil or Low Power Current Transformer (RJ45 Inputs) / 3-Phase and Vsync Input LEA Voltage Sensor (RJ45 Inputs) (SELECT 3 ACI / 4 AVI)	Bobina de Rogowski ou Transformador de Corrente de Baixa Potência Trifásico (Entradas RJ45) / Sensor de Tensão LEA Trifásico e Entrada Vsync (Entradas RJ45) (SELECIONE 3 ACI / 4 AVI)
4 AI / 4 AO (± 20 mA or ± 10 V Range)	4 Entradas Analógicas (AI) / 4 Saídas Analógicas (AO) (Faixa ± 20 mA ou ± 10 V)
4 Arc-Flash Detection Inputs / 3 Motor DIFF AC Current Inputs (1A/5A)	4 Entradas para Detecção de Arco Elétrico / 3 Entradas de Corrente AC Diferencial para Motor (1A/5A)

4 DI / 3 DO (Electromechanical 2 Form C, 1 Form B)	4 Entradas Digitais (DI) / 3 Saídas Digitais (DO) (Eletromecânico: 2 Forma C, 1 Forma B)
4 DI / 4 DO Electromechanical (Form A)	4 Entradas Digitais (DI) / 4 Saídas Digitais (DO) Eletromecânicas (Forma A)
4 DI / 4 DO Fast High Current Hybrid (Form A)	4 Entradas Digitais (DI) / 4 Saídas Digitais (DO) Híbridas Rápidas de Alta Corrente (Forma A)
6-Phase AC Current Input (1 Amp Winding 3/1 Amp Winding 4) (SELECT 6 ACI)	Entrada de Corrente AC Hexafásica (Enrolamento 3 de 1 A / Enrolamento 4 de 1 A) (SELECIONE 6 ACI)
6-Phase Rogowski Coil or Low Power Current Transformer (RJ45 Inputs) (SELECT 6 ACI)	Bobina de Rogowski ou Transformador de Corrente de Baixa Potência Hexafásico (Entradas RJ45) (SELECIONE 6 ACI)
8 AI (± 20 mA or ± 10 V range)	8 Entradas Analógicas (AI) (faixa ± 20 mA ou ± 10 V)
8 Arc-Flash Detection Inputs	8 Entradas para Detecção de Arco Elétrico
8 DI	8 Entradas Digitais (DI)
8 DO Electromechanical (2 Form A, 6 Form B)	8 Saídas Digitais (DO) Eletromecânicas (2 Forma A, 6 Forma B)
LEA Vsync (8 Vac) / Vbat (300 Vdc) / 7 DI	LEA Vsync (8 Vca) / Vbat (300 Vcc) / 7 Entradas Digitais (DI)

Vsync (300 Vac) / Vbat (300 Vdc) / 7 DI	Vsync (300 Vca) / Vbat (300 Vcc) / 7 Entradas Digitais (DI)
Serial Communications (EIA-232/485)	Comunicação Serial (EIA-232/485)
Vsync (300 Vac) / Vbat (300 Vdc) / 4 Arc-Flash Detection Inputs	Vsync (300 Vca) / Vbat (300 Vcc) / 4 Entradas para Detecção de Arco Elétrico
LEA Vsync (8Vac) / Vbat (300 Vdc) / 4 Arc-Flash Detection Inputs	LEA Vsync (8 Vca) / Vbat (300 Vcc) / 4 Entradas para Detecção de Arco Elétrico
4 Arc-Flash Inputs	4 Entradas para Arco Elétrico
6 Additional Inputs	6 Entradas Adicionais
6 Standard Externally Wetted	6 Saídas Padrão com Acionamento Externo Molhado
6 Standard Externally Wetted, 1 Analog Output 0-20 mA	6 Saídas Padrão com Acionamento Externo Molhado, 1 Saída Analógica 0-20 mA
6 Standard Internally Wetted	6 Saídas Padrão com Acionamento Interno Molhado
6 Standard Plus, 6 Additional Internally Wetted, 1 Analog Output 0-20 mA	6 Saídas Padrão Plus, 6 Saídas Adicionais com Acionamento Interno Molhado, 1 Saída Analógica 0-20 mA
32 DI / 16 DO	32 Entradas Digitais (DI) / 16 Saídas Digitais (DO)
16 DI / 32 (16 Standard, 16 High-Current) DO	16 Entradas Digitais (DI) / 32 Saídas Digitais (DO) (16 Padrão, 16 de Alta Corrente)

16 DI / 26 (16 Standard, 10 Fast High-Current) DO	16 Entradas Digitais (DI) / 26 Saídas Digitais (DO) (16 Padrão, 10 Rápidas de Alta Corrente)
16 DI / 32 DO	16 Entradas Digitais (DI) / 32 Saídas Digitais (DO)
48 DI	48 Entradas Digitais (DI)
32 DI / 10 Fast High-Current DO	32 Entradas Digitais (DI) / 10 Saídas Digitais (DO) Rápidas de Alta Corrente

Apêndice B

Texto Original (Inglês)	Tradução (Português)
(1) 100BASE-FX, EIA-485	(1) 100BASE-FX, EIA-485
(1) 10/100BASE-T, (1) 100BASE-FX	(1) 10/100BASE-T, (1) 100BASE-FX
(1) 10/100BASE-T, (1) 100BASE-FX MM LC, (1) Fiber-Optic MM ST Serial Port	(1) 10/100BASE-T, (1) 100BASE-FX MM LC, (1) Porta Serial Fibra-Óptica MM ST
(2) 10/100BASE-T, EIA-485	(2) 10/100BASE-T, EIA-485
(2) 100BASE-FX MM LC, EIA-485	(2) 100BASE-FX MM LC, EIA-485
(2) 100BASE-FX, EIA-485	(2) 100BASE-FX, EIA-485
(2) 10/100BASE-T, (1) Fiber-Optic MM ST Serial Port	(2) 10/100BASE-T, (1) Porta Serial Fibra-Óptica MM ST
(2) 100BASE-FX MM LC, (1) Fiber-Optic MM ST Serial Port	(2) 100BASE-FX MM LC, (1) Porta Serial Fibra-Óptica MM ST
Dual 10/100BASE-T Ethernet	Ethernet Dual 10/100BASE-T
Dual 100BASE-FX MM LC Ethernet	Ethernet Dual 100BASE-FX MM LC
Single 10/100BASE-T Ethernet	Ethernet 10/100BASE-T único
Single 100BASE-FX MM LC Ethernet	Ethernet 100BASE-FX MM LC único
Single or Dual 10/100BASE-T Ethernet port(s) (optional)	Porta(s) Ethernet 10/100BASE-T única(s) ou dupla(s) (opcional)
Ethernet Card With One 100BASE-FX, One 10/100BASE-T Connector	Placa Ethernet com um conector 100BASE-FX e um 10/100BASE-T

Ethernet Card With Two 10/100BASE-T Connectors	Placa Ethernet com dois conectores 10/100BASE-T
Ethernet Card With Two 100BASE-FX Connectors	Placa Ethernet com dois conectores 100BASE-FX
Four 10/100BASE-T Connectors	Quatro conectores 10/100BASE-T
Four 100BASE-FX Connectors	Quatro conectores 100BASE-FX
Two 10/100BASE-T and One Fiber-Optic MM ST Serial Port	Duas 10/100BASE-T e uma Porta Serial Fibr���tica MM ST
Two 10/100BASE-T with EIA-485	Duas 10/100BASE-T com EIA-485
Two 10/100BASE-T and Two 100BASE-FX Connectors	Dois conectores 10/100BASE-T e dois 100BASE-FX
Two 100BASE-FX MM LC and One Fiber-Optic MM ST Serial Port	Duas 100BASE-FX MM LC e uma Porta Serial Fibr���tica MM ST
Two 100/1000BASE and Three 100BASE-SFP Ports (SFP transceivers ordered separately)	Duas 100/1000BASE e tr��s portas 100BASE-SFP (transceptores SFP encomendados separadamente)
1 Gbps SFP Ethernet port for engineering access and SCADA	Porta Ethernet 1 Gbps SFP para acesso de engenharia e SCADA
SFP fiber-optic port for ultra-high-bandwidth protection signaling	Porta fibra���tica SFP para sinaliza��o de prote��o de banda ultra-alta
SFP fiber-optic ports for communication with up to four TiDL relays (transceivers ordered separately)	Portas de fibra SFP para comunica��o com at�� quatro rel��s TiDL (transceptores encomendados separadamente)
EIA-232 Serial	Serial EIA-232

EIA-485 Serial	Serial EIA-485
EIA-232/EIA-485 Serial	Serial EIA-232/EIA-485
EIA-232/EIA-485 Serial with IRIG-B	Porta serial EIA-232/EIA-485 com IRIG-B
EIA-232 Front and Rear Ports	Porta EIA-232 Frontal e Traseira
EIA-232 Front Port and EIA-485 Rear Port	Porta EIA-232 Frontal e Porta EIA-485 Traseira
EIA-232 Rear Port	Porta EIA-232 Traseira
EIA-232 (P3) and Fiber-Optic EIA-232 (P2) with IRIG-B input	Porta serial EIA-232 (P3) e porta serial EIA-232 fibra-óptica (P2) com entrada IRIG-B
Fiber-Optic Serial Port	Porta serial fibra-óptica
USB Port	Porta USB
IRIG-B PTC	IRIG-B PTC
Modbus TCP multisesion, DNP3, optional IEC 61850	Modbus TCP multisessão, DNP3, IEC 61850 opcional
IEEE 1588 PTPv2 (Precision Time Protocol)	IEEE 1588 PTPv2 (Protocolo de Tempo de Precisão)
Demodulated IRIG-B for precise-time input	IRIG-B demodulado para entrada de tempo preciso
Mirrored Bits communications (via EIA-232 ports)	Comunicações Mirrored Bits (via portas EIA-232)
Standard dual copper, optional single/dual fiber-optic Ethernet ports	Padrão dual cobre, portas Ethernet fibra-óptica única ou dupla opcionais

Apêndice C

Modelo
751AABCDEFGHIIJKLMNO
24402A1BCDE1FGHI
0487B1ABCD2XEFXGHIJKLMX
0487B2ABCDE00XFGHIJKLMNXX
0587ZABCDEFGHXX
0787Z0ABCDEFGHIIJKLMNO0PQR
0487VABCDEFXGHXIIJKLMNO
0401ABCXDE00XFGHIJKLMNOXX
TMU1A10WXX
751ABCDEFGHIIJKLMNOP
0351SABCDEFGHII
0451ABCDEFG00XGHIJKLMNOPXX
0451ABCDEFGHIIJKLMNOPQ
0551C0ABCDEX
085100ABCDE0FGH
0300GABCD2EFGHIJ
0400GABCDEFXGHXIIJKLMNOP
0700GABCDEFHIIJKLMNO
2664SA1XX83
0311CABCDEFGHII
0311LABCDEFHIIJKX
0387LABC0DXEFGH
0411LABCDEFHIXJKLMNOPQ
0411LABXXCDEFXGHIJKLXXXX
0421ABCDXEFXGHIJKLMNX
0421ABCXDE00XFGHIJKLMNOXX
0787LABCDEFHIIJKLMNOP
0700BTABCDEFHIIJKLMN
071050ABCDEFHIIJKLMNO
084900A0BCD0EFG
0351RSABCDEFHIIJKLMN
0651R2ABCDEFHIIJKLMNOP
0651RA01ABCDAEFAGHIIJKLMN
T400L#ABCD
T401L#ABCD
0387AABCDEFXGHI
0387ABCXDEFXGHI
0387EABCDEFHII
0487EABCDEFXGHXIIJKLMNOP
0787ABCDEFHIIJKLMNOPQ