

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

GETÚLIO JOSÉ HOFFMANN

**PROJETO EXECUTIVO DE SISTEMA DE PROTEÇÃO, CONTROLE E
SUPERVISÃO DE SUBESTAÇÃO ABAIXADORA DE TENSÃO:
Documentação, Desafios e Boas Práticas**

FLORIANÓPOLIS, 2025.

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

GETÚLIO JOSÉ HOFFMANN

**PROJETO EXECUTIVO DE SISTEMA DE PROTEÇÃO, CONTROLE E
SUPERVISÃO DE SUBESTAÇÃO ABAIXADORA DE TENSÃO:
Documentação, Desafios e Boas Práticas**

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido ao Curso de Graduação em
Engenharia Elétrica do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia de Santa
Catarina como parte dos requisitos para
obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Elétrica.

Orientador:
Prof. Daniel Tenfen, Dr Eng.

FLORIANÓPOLIS, 2025.

Hoffmann, Getúlio José

PROJETO EXECUTIVO DE SISTEMA DE PROTEÇÃO, CONTROLE E SUPERVISÃO DE SUBESTAÇÃO ABAIXADORA DE TENSÃO: documentação, desafios e boas práticas / Getúlio José Hoffmann; orientação de Daniel Tenfen. - Florianópolis, SC, 2025.

64 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado em Engenharia Elétrica. Departamento Acadêmico de Eletrotécnica. Inclui Referências.

1. SPCS. 2. Subestação. 3. Projetos. 4. Cronograma.
I. Tenfen, Daniel. II. Instituto Federal de Santa Catarina.
III. PROJETO EXECUTIVO DE SISTEMA DE PROTEÇÃO,
CONTROLE E SUPERVISÃO DE SUBESTAÇÃO ABAIXADORA DE
TENSÃO.

**PROJETO EXECUTIVO DE SISTEMA DE PROTEÇÃO, CONTROLE E
SUPERVISÃO DE SUBESTAÇÃO ABAIXADORA DE TENSÃO:
DOCUMENTAÇÃO, DESAFIOS E BOAS PRÁTICAS**

GETÚLIO JOSÉ HOFFMANN

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro Eletricista e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 6 de março, 2025.

Banca Examinadora:

Prof. Daniel Tenfen, Dr. Eng.

Prof. Everthon Taghori Sica, Dr. Eng.
Instituto Federal de Santa Catarina

Prof. Fabio Victor Schreiber, Me. Eng.
Instituto Federal de Santa Catarina

RESUMO

O crescente consumo de energia elétrica faz com que cada vez mais seja necessário a adequação e ampliação de subestações do sistema elétrico brasileiro. Uma das etapas necessárias para a construção de uma subestação é o projeto. Dentre as áreas no projeto, uma que se destaca é a de Sistema de Proteção, Controle e Supervisão (SPCS), por seu nível de detalhamento e complexidade dos documentos elaborados. Este trabalho tem como objetivo levantar e analisar os documentos de SPCS de um projeto executivo de uma subestação abaixadora de tensão, identificando desafios e dificuldades enfrentados durante sua elaboração. Um projeto bem estruturado não só define os critérios técnicos e a interligação dos diversos documentos (como workstatement, diagramas unifilares, funcionais, interligação e construtivos), mas também tem impacto direto no cronograma da obra. Devido à alta dependência entre os documentos, um atraso na elaboração de um deles pode comprometer o cronograma, acarretando multas e outros prejuízos. A gestão rigorosa dos prazos, cronogramas e à criação de um planejamento detalhado para o recebimento das informações essenciais do cliente, faz com que esses documentos que são essenciais para garantir a continuidade dos trabalhos e o sucesso da implantação da subestação não possuam atrasos, contribuindo para a segurança e eficiência do sistema elétrico. Além disso, busca suprir a carência de referências técnicas específicas sobre cronogramas para essa etapa do projeto, auxiliando profissionais da área na elaboração e gerenciamento dessas documentações.

Palavras-chave: SPCS, Subestação, Projetos, Cronograma.

ABSTRACT

The increasing consumption of electricity makes it increasingly necessary to adapt and expand substations within the Brazilian power system. One of the essential stages in the construction of a substation is its design. Among the various areas of the project, one that stands out is the Protection, Control, and Supervision System (PCSS) due to the level of detail and complexity involved in the documents produced. This study aims to identify and analyze the SPCS documents of an executive project for a step-down substation, highlighting the challenges and difficulties encountered during its development. A well-structured project not only defines the technical criteria and the interconnection between various documents (such as the work statement, single-line diagrams, functional diagrams, interconnection diagrams, and construction plans) but also has a direct impact on the project's schedule. Due to the high dependency between these documents, delays in the preparation of any one of them can compromise the timeline, leading to penalties and other setbacks. Strict deadline and schedule management, along with the creation of a detailed plan for receiving essential information from the client, ensures that these crucial documents are delivered on time, supporting the continuity of work and the successful implementation of the substation. This contributes to the safety and efficiency of the power system. Additionally, this study seeks to address the lack of specific technical references regarding scheduling for this phase of the project, assisting professionals in the preparation and management of these documents.

Keywords: PCSS, Substation, Projects, Schedule.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Arranjo barra simples	13
Figura 2 - Arranjo barra principal e transferência	14
Figura 3 - Arranjo barra dupla com disjuntor simples a 3 chaves.....	15
Figura 4 - Arranjo barra dupla com disjuntor simples a 4 chaves.....	15
Figura 5 - Anel simples.....	16
Figura 6 - Barra dupla com disjuntor e meio	17
Figura 7 - Para-raios	18
Figura 8 - Chave seccionadora	20
Figura 9 - Disjuntor a SF6	21
Figura 10 - Relé de atração eletromagnética	22
Figura 11 - Relé de indução	22
Figura 12 - Relés digitais.....	23
Figura 13 - Transformador de corrente de BT do tipo janela.....	25
Figura 14 - Transformador de corrente de BT do tipo barra.....	25
Figura 15 - Transformador de corrente de AT do tipo bucha	26
Figura 16 - Diagrama construtivo de transformador de potencial indutivo	27
Figura 17 - Diagrama construtivo de transformador de potencial capacitivo	27
Figura 18 - Fluxograma dos documentos de SPCS	32
Figura 19 - Relé de proteção de linha	33
Figura 20 - Diagrama unifilar de proteção e controle	35
Figura 21 - Diagrama unifilar de serviços auxiliares CA.....	36
Figura 22 - Diagrama unifilar de serviços auxiliares CC.....	36
Figura 23 - Perfil de descarga	38
Figura 24 - Comando de abertura e trip de disjuntor	42
Figura 25 - Entradas digitais IED.....	43
Figura 26 - Entradas analógicas IED.....	43
Figura 27 - Representação de borne em diagrama de interligação.....	45
Figura 28 - Lista de cabos	46
Figura 29 - Painel de proteção e controle – vista frontal, lateral e traseira (externa)	46
Figura 30 - Painel de proteção e controle - vistas superior e inferior	47
Figura 31 - Painel de proteção e controle – construtivos vistas – frontal e laterais (interno).....	47

Figura 32 – Placa de montagem	48
Figura 33 - Lista de materiais	48
Figura 34 - Lista de plaquetas	49
Figura 35 - Lógica para comando fechamento de disjuntor	49
Figura 36 - Tipo de cabo da arquitetura detalhada.....	50
Figura 37 - Arquitetura painel de medição	51
Figura 38 - Lista de cabos da arquitetura	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ET	Especificações Técnicas
IED	Dispositivos Eletrônicos Inteligentes
kW	Quilowatts
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PDE	Plano Decenal de Expansão
SEP	Sistema Elétrico de Potência
SIN	Sistema Interligado Nacional
SPCS	Sistema de Proteção, Controle e Supervisão
TC	Transformador de Corrente
TP	Transformador de Potencial
TPC	Transformador de Potencial Capacitivo
TPI	Transformador de Potencial Indutivo
TSA	Transformador de Serviços Auxiliares

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	Justificativa	9
1.2	Definição do Problema	10
1.3	Objetivo Geral.....	10
1.4	Objetivos Específicos	10
1.5	Estrutura do Trabalho.....	11
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	12
2.1	Subestações	12
2.1.1	Tipos de Subestações.....	12
2.1.1.1	<i>Barra Simples.....</i>	<i>13</i>
2.1.1.2	<i>Barra Principal e de Transferência.....</i>	<i>13</i>
2.1.1.3	<i>Barra Dupla com Disjuntor Simples</i>	<i>14</i>
2.1.1.4	<i>Barra em Anel Simples</i>	<i>16</i>
2.1.1.5	<i>Barra Dupla com Disjuntor e Meio</i>	<i>16</i>
2.1.2	Equipamentos de Proteção	17
2.1.2.1	<i>Para-raios.....</i>	<i>17</i>
2.1.2.2	<i>Seccionadoras</i>	<i>19</i>
2.1.2.3	<i>Disjuntores</i>	<i>20</i>
2.1.2.4	<i>Relé de Proteção</i>	<i>21</i>
2.1.2.5	<i>Transformador de Corrente.....</i>	<i>24</i>
2.1.2.6	<i>Transformador de Potencial.....</i>	<i>26</i>
2.2	Etapas de Elaboração de Projetos	28
2.2.1	Estudo de Viabilidade	28
2.2.2	Dimensionamento da Subestação	29
2.2.3	Projeto Básico	29
2.2.4	Projeto Executivo	30
2.2.5	Licenciamento e aprovações.....	30
2.2.6	Implantação (Construção)	31
2.2.7	Comissionamento	31
3	PROJETO EXECUTIVO DE SPCS.....	32
3.1	Documentos Elaborados	32
3.1.1	Workstatement	33
3.1.1.1	<i>Definições realizadas</i>	<i>33</i>
3.1.2	Diagramas Unifilares	34
3.1.3	Memórias de Cálculos.....	37
3.1.3.1	<i>TSA.....</i>	<i>37</i>
3.1.3.2	<i>Baterias e Retificador</i>	<i>38</i>
3.1.3.3	<i>Cabos.....</i>	<i>39</i>
3.1.4	Diagrama Funcional	41
3.1.5	Diagrama de Interligação	44
3.1.6	Lista de Cabos	45
3.1.7	Diagrama Construtivo	46
3.1.8	Diagrama Lógico	49
3.1.9	Diagrama de Arquitetura Detalhada.....	50
3.2	Recebimento de Informações	52
3.2.1	Etapa 1.....	52

3.2.2	Etapa 2.....	53
3.2.3	Etapa 3.....	54
3.2.4	Etapa 4.....	54
3.2.5	Etapa 5.....	55
3.2.6	Entrega Final.....	56
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	57
	REFERÊNCIAS	58

1 INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento populacional, o aumento do consumo de energia elétrica se torna iminente. No mês de novembro de 2023, o consumo de energia elétrica nas residências teve um aumento de 14,2% a mais que o mesmo mês do ano anterior, totalizando 14.787 GWh, maior valor já registrado desde 2004 (EPE, 2023).

Para suprir essa demanda de energia, é necessária a realização de obras nas redes de alta tensão do Sistema Interligado Nacional (SIN) e nas redes de distribuição de média tensão, visando modernizar o sistema e garantir sua capacidade de suportar o aumento da demanda. Segundo Lucio (2024), o caderno de estudos do Plano Decenal de Expansão (PDE) apresenta que “o país receberá investimentos de R\$ 128,6 bilhões para a construção de 30 mil km de novas linhas de transmissão e 82 mil MVA em novas subestações até 2034”.

As subestações são instalações elétricas responsáveis pela transmissão e distribuição de energia, mais comumente atuando no redirecionamento da energia elétrica, na conversão de tensão em corrente contínua para alternada e vice-versa, na elevação e redução do nível de tensão. Além disso, abrigam equipamentos destinados à proteção e controle do sistema (Tecnogera, 2021). A elaboração de projetos de subestações são tarefas difíceis, mas essenciais para um bom funcionamento do sistema.

1.1 Justificativa

As subestações de energia desempenham diversas funções essenciais, sendo uma delas a proteção do sistema elétrico, conhecida como Sistema de Proteção, Controle e Supervisão (SPCS). Segundo METRUM (2023), no SPCS, há a proteção de equipamentos grandes e caros como geradores, transformadores, linhas de transmissão, disjuntores, barramentos elétricos, condutores.

A construção de uma subestação exige um processo estruturado que inclui a elaboração de projetos básicos e projetos executivos. Esses projetos têm como objetivo otimizar o dimensionamento, a especificação e a coordenação dos equipamentos, assegurando a eficiência, a confiabilidade e a segurança do sistema de proteção da subestação.

Nesse contexto, a evolução das tecnologias e informações utilizadas em subestações de energia faz com que a elaboração de um bom projeto executivo seja essencial para obter a redução de falhas e desligamentos.

1.2 Definição do Problema

Os projetos de subestações, por muitas vezes seguem os requisitos mínimos para subestações e seus equipamentos, encontrados no submódulo 2.6 do procedimento de rede criado pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) (ONS, 2022).

Diante da importância da padronização de projetos e dos desafios enfrentados em sua concepção é fundamental que as empresas projetistas adotem um padrão bem definido e possuam informações claras sobre os equipamentos, muitas vezes fornecidas pelos clientes. Nesse contexto, surgem questionamentos relevantes sobre o desenvolvimento de projetos de SPCS em subestações, tais como: Quais os documentos desenvolvidos para um projeto executivo de SPCS de uma subestação abaixadora de tensão? A falta de informações sobre os equipamentos pode gerar atrasos na conclusão dos projetos, impactando diretamente o prazo para a entrada em operação das subestações?

1.3 Objetivo Geral

O objetivo do trabalho é apresentar o desenvolvimento do projeto executivo de uma subestação abaixadora de tensão para distribuição visualizando os documentos elaborados para a etapa de projeto de SPCS, destacando as principais dificuldades e desafios enfrentados durante o processo.

1.4 Objetivos Específicos

Para se atingir o objetivo geral, foram elencados os seguintes objetivos específicos:

- a) Definir as subestações, sua classificação e seus equipamentos, além das etapas realizadas para a construção de uma subestação

- b) identificar os principais documentos necessários para o projeto executivo de SPCS em subestações abaixadoras de tensão;
- c) detalhar o fluxo de trabalho e as etapas envolvidas na elaboração dos documentos de SPCS ligadas com o recebimento de informações do cliente;
- d) levantar as dificuldades mais comuns enfrentadas na elaboração de documentos de SPCS, como integração entre disciplinas e interfaces técnicas;
- e) propor boas práticas ou soluções para superar os desafios identificados na elaboração de documentos de SPCS.

1.5 Estrutura do Trabalho

Este trabalho está organizado em 4 capítulos. No primeiro capítulo, a introdução, são apresentados a justificativa, a definição do problema e os objetivos do estudo.

O segundo capítulo abrange a fundamentação teórica, abordando a subestações, sua classificação e seus equipamentos, além das etapas realizadas para a construção de uma subestação.

O terceiro capítulo descreve a concepção de um projeto executivo de SPCS mostrando os documentos criados, fluxo entre eles e quais os deveres do cliente com relação ao fornecimento de informações para a projetista.

Por fim, o último capítulo descreve as considerações finais acerca do trabalho desenvolvido.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são abordados os diferentes tipos de subestações de acordo com seu nível de tensão, configuração do arranjo e quais os equipamentos que as compõem. Além disso, destaca-se o processo de idealização dessas instalações, desde os estudos de viabilidade até a etapa final de comissionamento.

2.1 Subestações

As subestações de energia são elementos imprescindíveis para o funcionamento do sistema elétrico brasileiro, “uma Subestação, em resumo, tem como finalidade transformar e transmitir a energia de alta tensão das concessionárias aos usuários, reduzindo as perdas de energia por distribuição, e mantendo a segurança para o consumidor.” (Ludwig; Welzel, 2022).

2.1.1 Tipos de Subestações

Existem diferentes tipos de subestações, cada uma com uma função específica. Nas subestações de geração, a principal função é elevar o nível de tensão para que a eletricidade possa ser transportada pelas linhas de transmissão. Já nas subestações de distribuição, a função é reduzir o nível de tensão, permitindo que a eletricidade seja distribuída de forma segura e eficiente pelas ruas até chegar aos consumidores finais (Iberdrola, 2024). Estas não são todos os tipos de subestações, mas as mais comuns em um sistema elétrico de potência.

A classificação das subestações pode ser feita com base no seu nível de tensão. Subestações com níveis de tensão de até 1 kV são classificadas como de baixa tensão. Subestações com níveis de tensão entre 1 kV e 34,5 kV são de média tensão. As subestações com níveis de tensão entre 34,5 kV e 230 kV são classificadas como de alta tensão, enquanto aquelas com níveis de tensão superiores a 230 kV são consideradas de extra alta tensão (Tecnogera, 2021).

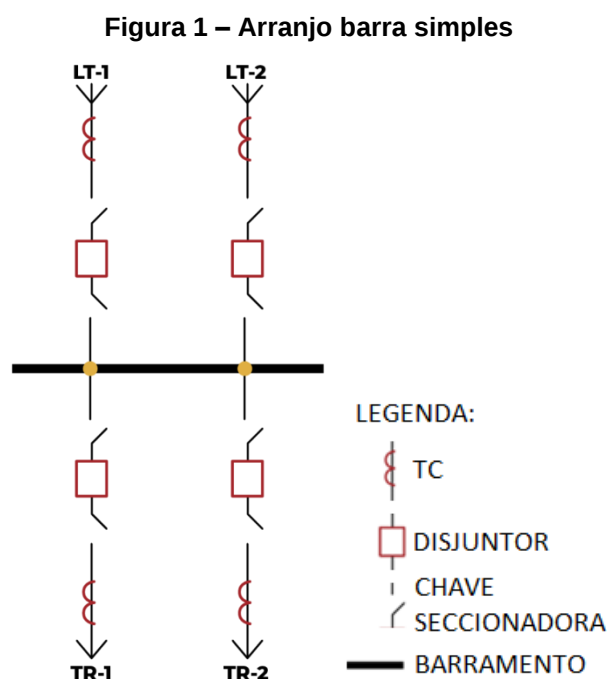
Além da classificação pelo nível de tensão, as subestações também podem ser classificadas com base na configuração de seu arranjo, a qual influencia diretamente a confiabilidade e segurança do sistema. “Os arranjos de barramento de

SEs normalmente utilizados são: Barramento simples; barramento principal e de transferência; barramento duplo com disjuntor simples; barramento em anel; barramento disjuntor e meio e barramento duplo com duplo disjuntores.” (Miranda; Monteiro, 2021, p. 4).

2.1.1.1 Barra Simples

Segundo Frontin *et al.* (2013), essa configuração de barra é a mais simples e pode ser usada para subestações de pequeno porte, tanto para distribuição ou para atendimento de cargas específicas industriais.

Na Figura 1, pode-se notar que ao realizar a retirada de um dos disjuntores para manutenção ocorre a perda de um transformador ou uma linha de transmissão.



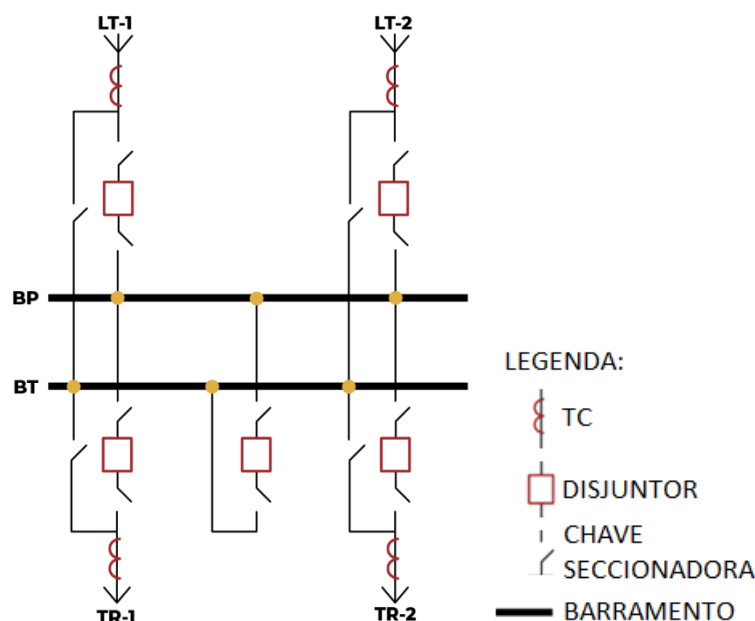
Fonte: Mesh Engenharia (2022).

2.1.1.2 Barra Principal e de Transferência

A configuração de barra principal e transferência é utilizada em subestações de média e alta tensão. Esse tipo de barramento oferece maior confiabilidade, permitindo a substituição de um disjuntor com o auxílio do disjuntor e do barramento de transferência (Frontin *et al.*, 2013).

Na Figura 2, apresenta-se o arranjo, destacando como é possível substituir um disjuntor pelo de transferência em caso de falha. No entanto, como todos os equipamentos estão conectados ao barramento principal, uma falha neste equipamento resultará na interrupção do fornecimento da subestação.

Figura 2 - Arranjo barra principal e transferência



Fonte: Mesh Engenharia (2022).

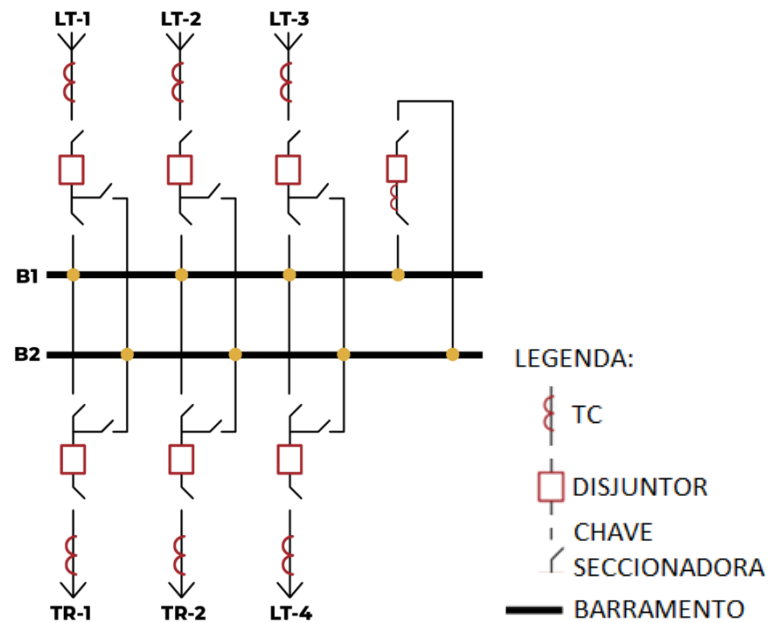
2.1.1.3 Barra Dupla com Disjuntor Simples

Esse tipo de arranjo é dividido em dois tipos: 3 chaves e 4 chaves. O barramento duplo com disjuntor simples a 3 chaves, se assemelha ao barramento principal e de transferência pela existência de duas barras, mas oferece maior confiabilidade, pois permite a operação simultânea das duas barras. No entanto, sua principal desvantagem é a impossibilidade de substituir um disjuntor pelo de transferência, o que resulta na perda de todo o vão em caso de falha ou necessidade de manutenção (Mesh Engenharia, 2022).

No arranjo barra duplo com disjuntor simples a 4 chaves, além da possibilidade de funcionamento conjunto das duas barras, é possível realizar o *bypass* de um dos disjuntores, permitindo sua manutenção sem interrupção no fornecimento de energia nesse vão, o que aumenta ainda mais a confiabilidade do

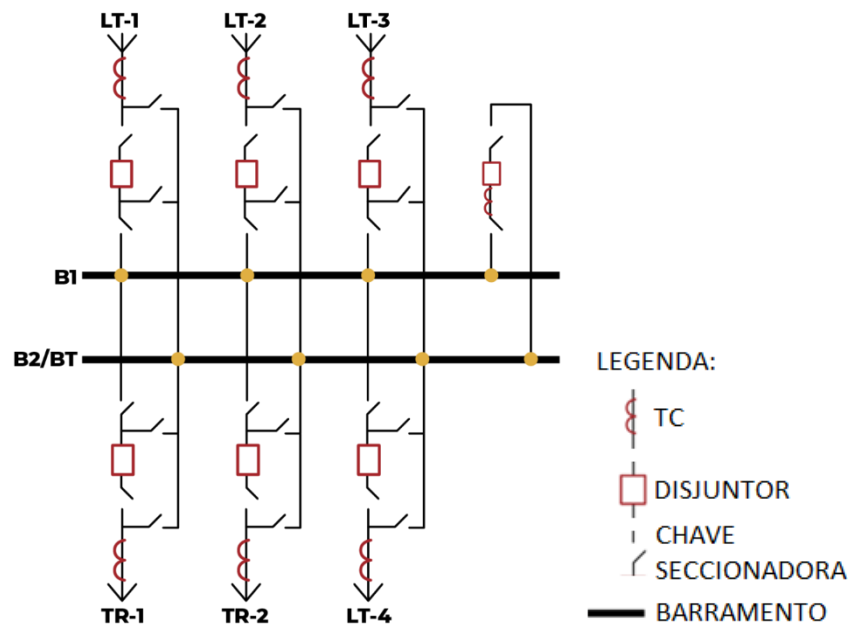
sistema. Na Figura 3 e Figura 4, observa-se como a adição de uma chave seccionadora em cada vão modifica as possibilidades de conexão.

Figura 3 - Arranjo barra dupla com disjuntor simples a 3 chaves



Fonte: Mesh Engenharia (2022).

Figura 4 - Arranjo barra dupla com disjuntor simples a 4 chaves

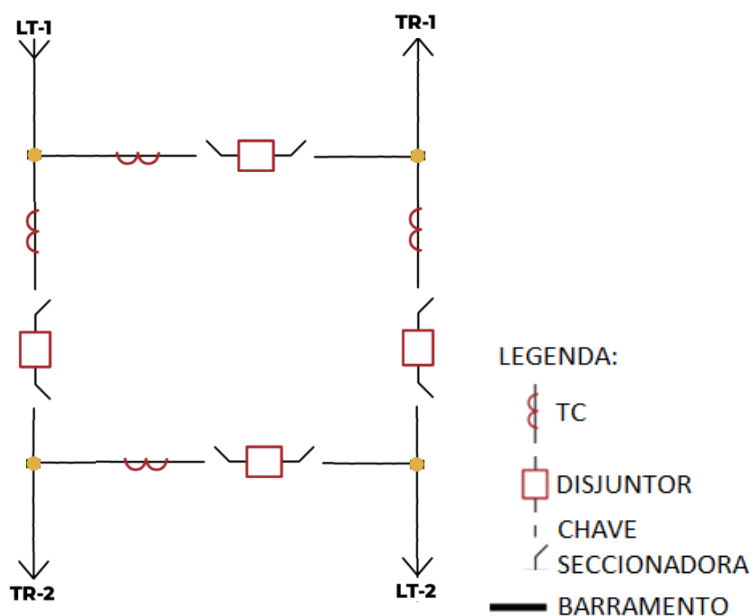


Fonte: Mesh Engenharia (2022).

2.1.1.4 Barra em Anel Simples

Na configuração em anel simples, os circuitos são interligados por meio de um laço elétrico formado pelos equipamentos como apresentado na Figura 5. Essa configuração apresenta como ponto positivo o fato de que, em caso de falha em uma das seções, apenas essa seção será desligada. No entanto, segundo Pronext (2021), sua desvantagem “se deve à complexidade do esquema de proteção a ser adotado, que envolve relés direcionais e um número maior de dispositivos de proteção.”

Figura 5 - Anel simples



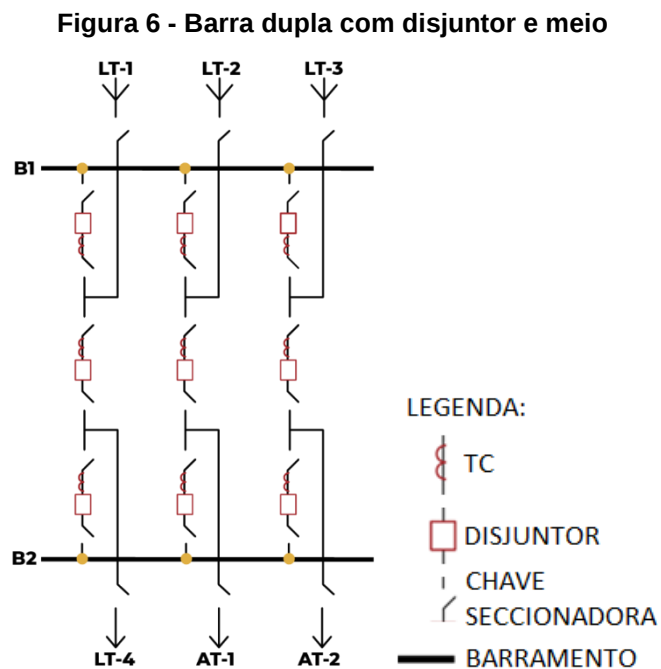
Fonte: Mesh Engenharia (2022) Adaptado.

2.1.1.5 Barra Dupla com Disjuntor e Meio

A configuração disjuntor e meio é uma das mais estáveis, permitindo a operação mesmo sem nenhuma das barras em funcionamento, garantindo a continuidade do circuito. Além disso, oferece boa flexibilidade operativa e facilidade para expansão. No entanto, apresenta um custo mais elevado devido à maior necessidade de disjuntores e transformadores (Frontin *et al.*, 2013).

Esse tipo de arranjo é recomendado para níveis de tensão mais elevados. O ONS indica sua aplicação em subestações isoladas a ar com nível de tensão igual ou superior a 345 kV (ONS, 2022).

Na Figura 6 a representação de como fica à disposição dos equipamentos em um arranjo com disjuntor e meio.



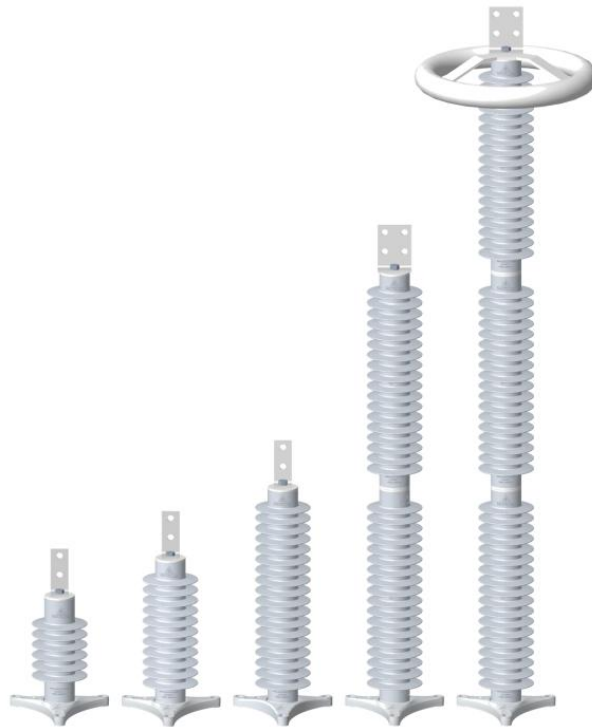
Fonte: Mesh Engenharia (2022).

2.1.2 Equipamentos de Proteção

Em subestações têm-se vários equipamentos que são utilizados para fazer a proteção evitando danos ao sistema elétrico.

2.1.2.1 Para-raios

Os para-raios em uma subestação são fundamentais para a segurança dos equipamentos internos e do sistema elétrico. Eles são conectados em paralelo aos equipamentos da subestação com o objetivo de desviar a corrente de descarga para a terra. Existem diferentes formas e tipos de para-raios. Na Figura 7, são apresentados os para-raios comumente utilizados em subestações.

Figura 7 - Para-raios

Fonte: Maurizio (2021).

A funcionalidade dos para-raios baseia-se na propriedade de não linearidade dos elementos que os compõem, permitindo a condução da corrente das descargas atmosféricas. Os para-raios de carboneto de silício são constituídos por resistores não lineares de carboneto de silício, corpo de porcelana e um centelhador em série. Já, os para-raios de óxido metálico utilizam resistores não lineares de óxido metálico, corpo cerâmico ou polimérico, e um contador de descargas que contabiliza o total de eventos ocorridos (Mamede Filho, 2019).

Os para-raios são classificados pela sua corrente de descarga nominal, os para-raios convencionais a carboneto de silício com centelhadores são classificados como:

- classe estação: 20 kA, 15 kA e 10 kA;
- classe distribuição: 5 kA;
- classe secundária: 1,5 kA.

Já, os para-raios a óxido metálico sem centelhadores são classificados como:

- classe estação: 20 kA e 10 kA;

- classe distribuição: 10kA e 5 kA.

Cada classe de para-raios pode ter uma utilização diferente.

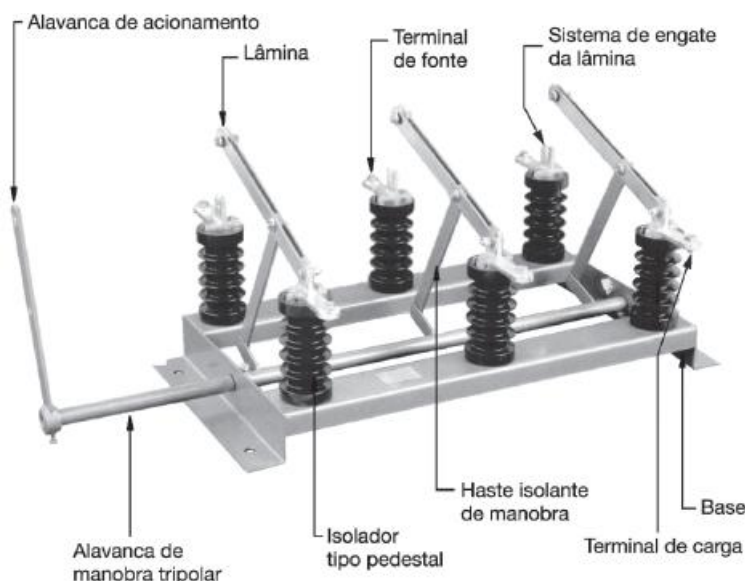
A classe do para-raios selecionada pode ser influenciada pela importância da subestação ou do equipamento a ser protegido. Por exemplo, para-raios classe estação devem ser utilizados em grandes subestações; para-raios classe intermediária de absorção de energia podem ser utilizados em subestações menores, em linhas e em postes terminais de subtransmissão de 138 kV e abaixo; para-raios classe distribuição devem ser utilizados em subestações de distribuição pequenas para proteção de seus barramentos. (Frontin *et al.*, 2013, p. 458)

2.1.2.2 Seccionadoras

As chaves seccionadoras são dispositivos mecânicos projetados para manter a continuidade dos circuitos quando estão fechadas e, quando abertas, garantir uma distância de isolamento que interrompe o circuito, impedindo sua energização. Esse equipamento é utilizado em subestações para possibilitar manobras nos circuitos elétricos sem carga, isolando outros componentes, como disjuntores, transformadores de medida e de proteção, e barramentos (Mamede Filho, 2019).

As seccionadoras são constituídas basicamente por uma alavanca de acionamento, que pode ser operada manualmente ou de forma motorizada. Esta alavanca movimenta as lâminas através das hastes de isolamento de manobra. As lâminas permitem a abertura do circuito ao entrarem em contato com o sistema de engate, possibilitando a passagem da energia do terminal de fonte para o terminal de carga. Ambos os terminais estão apoiados sobre isoladores para garantir que o sistema esteja isolado da base. Na Figura 8 tem-se a representação de uma chave seccionadora trifásica em média tensão sem carga.

Figura 8 - Chave seccionadora



Fonte: Mamede Filho (2019).

2.1.2.3 Disjuntores

Os disjuntores em subestações têm como principal função a interrupção rápida de correntes de falta, visando minimizar os danos que poderiam ocorrer nessas situações. Eles devem ser capazes de fechar circuitos elétricos tanto em condições normais de operação quanto na presença de curtos-circuitos (D'Ajuz *et al.*, 1985).

Em uma subestação, o disjuntor pode permanecer inativo por meses, mas, quando necessário, ele deve abrir mecanicamente em tempos muito curtos. Isso destaca a importância de cuidados especiais no projeto desses equipamentos, garantindo que estejam sempre prontos para operar eficientemente em situações críticas (D'Ajuz *et al.*, 1985).

Os tipos de disjuntores são classificados de acordo com o tipo de meio isolante utilizado para extinguir o arco elétrico provocado pela abertura do circuito (Frontin *et al.*, 2013). Os principais tipos de disjuntores são:

- disjuntores a óleo;
- disjuntores a ar comprimido;
- disjuntores a SF₆;
- disjuntores a vácuo.

Os disjuntores são acionados por relés, que decidem se o disjuntor deve ser ativado ou não. Sem os relés, os disjuntores funcionariam apenas como chaves de manobra, perdendo suas características de proteção e segurança (Cogera, 2018). Na figura, tem-se um disjuntor trifásico a SF6 de 145kV.

Figura 9 - Disjuntor a SF6



Fonte: Chint (2024).

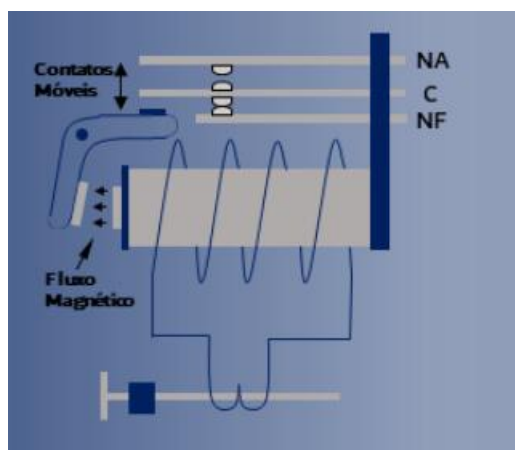
2.1.2.4 Relé de Proteção

Os relés de proteção são dispositivos capazes de monitorar as condições do sistema em que estão inseridos e identificar situações anormais que requerem ação para proteger a subestação, o sistema e os equipamentos nela presentes (ProNext, 2024).

Os primeiros relés de proteção a serem desenvolvidos foram os eletromecânicos, cujo princípio de operação se baseia na atração eletromagnética e na indução. No caso da atração eletromagnética, as tensões e correntes geram forças elétricas e magnéticas que movem um contato, acionando o circuito de abertura de um disjuntor. Já nos relés de indução, a movimentação do contato é provocada pela indução elétrica, formada por um núcleo estacionário sobre um disco, que, ao se mover, aciona os contatos (ProNext, 2024).

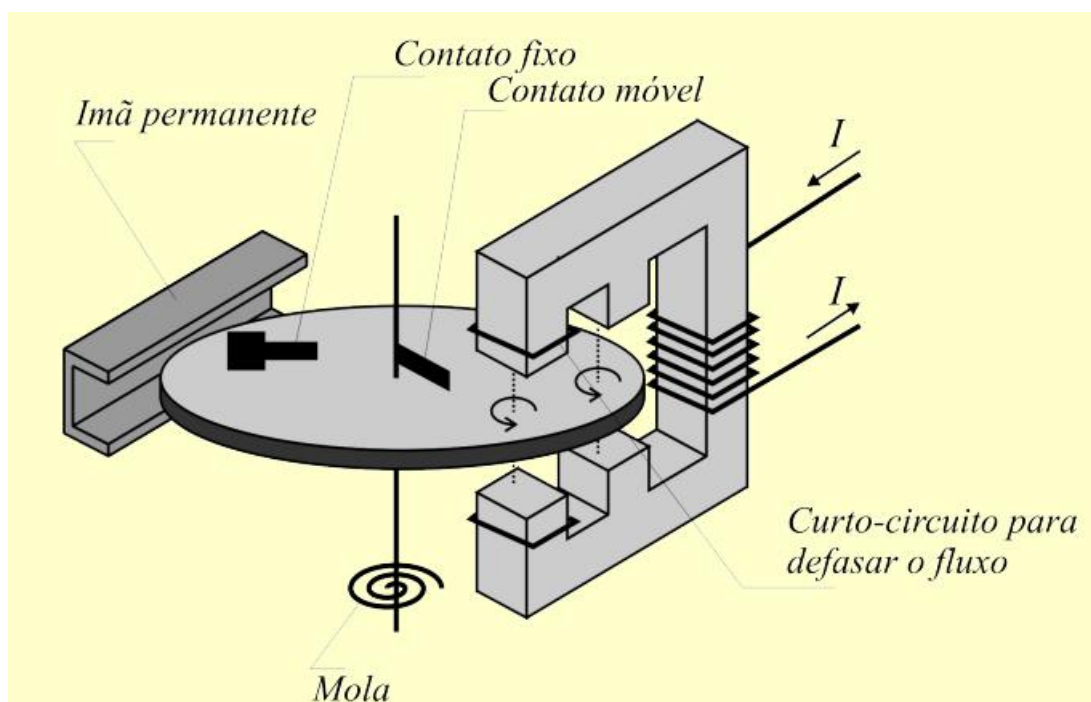
Na Figura 10 temos o funcionamento interno de um relé de atração eletromagnética e a Figura 11 de um relé de indução.

Figura 10 - Relé de atração eletromagnética



Fonte: ProNext (2024) Adaptado.

Figura 11 - Relé de indução



Fonte: Manassero Junior (2017).

Na década de 1970, com a evolução da tecnologia, foram criados os relés estáticos. Inicialmente fabricados com transistores e diodos, esses dispositivos evoluíram para utilizar semicondutores e circuitos integrados. O termo "estático" se refere à ausência de componentes móveis, uma característica que difere dos relés

eletromecânicos, que dependiam de movimento para seu funcionamento. Segundo Merlin (2019), existem várias vantagens e desvantagens na utilização dos relés estáticos.

A mudança de configurações foi mais simples e mais flexível (dip-switches, potenciômetros, etc.) quando comparados com os relés eletromecânicos. O consumo nos circuitos de medição caiu radicalmente, reduzindo os requisitos nos transformadores de medição, mas os problemas com interferência eletromagnética aumentaram. Sua calibração e reparo deixaram de ser uma atividade de campo, passando a ser feita nos laboratórios. Sua fonte de alimentação tornou-se um elemento crítico, que precisava ser altamente confiável. (Merlin, 2019).

A partir da década de 1980, as tecnologias de microprocessadores foram implementadas nos relés, possibilitando a utilização de programas e algoritmos para executar funções de proteção. Esses algoritmos simulam, em grande parte, o funcionamento dos relés eletromecânicos, transferindo muitas das lógicas que anteriormente eram realizadas com cabos para o interior do próprio relé (ProNext, 2024). Na Figura 12 alguns dos relés digitais usados na proteção de subestações.

Figura 12 - Relés digitais



Fonte: Siemens (2025a).

2.1.2.5 Transformador de Corrente

Os transformadores de corrente (TC) são equipamentos essenciais que permitem o funcionamento de instrumentos de medição e proteção sem a necessidade de que esses instrumentos suportem as correntes elevadas dos circuitos aos quais estão conectados. A transformação da corrente ocorre por meio do fenômeno de conversão eletromagnética, onde as altas correntes dos enrolamentos primários geram um fluxo magnético que passa pelo enrolamento secundário, produzindo uma corrente de menor valor (Mamede Filho, 2019).

A classificação dos transformadores de corrente ocorre com base em sua corrente nominal, nas cargas nominais e na classe de exatidão. A corrente nominal primária deve ser compatível com a corrente de carga do circuito primário. A corrente nominal secundária é geralmente de 5 A, mas pode ser reduzida para 1 A quando se deseja minimizar a queda de tensão nos fios de interligação com os equipamentos (Mamede Filho, 2019).

Cada enrolamento secundário de um TC é usado para uma finalidade específica, e é preciso levar em consideração a carga que será conectada a ele, bem como a classe de exatidão necessária conforme a precisão exigida. Para TCs destinados à medição, é necessária uma classe de exatidão mais rigorosa para reduzir erros, que podem variar de 0,3% a 3%. Segundo Mamede Filho (2019), os TCs para proteção diferem dos TCs para medição, tendo requisitos e características distintas.

Ao contrário dos transformadores de corrente para medição, os TCs para serviço de proteção não devem saturar para correntes de elevado valor, tais como as que se desenvolvem durante a ocorrência de um defeito no sistema. Caso contrário, os sinais de corrente recebidos pelos relés estariam mascarados, permitindo, dessa forma, uma operação inconsequente do sistema elétrica (Mamede Filho, 2019).

Os TCs podem ser encontrados em diferentes tipos construtivos. Na Figura 13, é apresentado um TC tipo janela, que é instalado em torno de um condutor sem enrolamento primário. Na Figura 14, vê-se um TC tipo barra, onde uma barra fixa passa pelo núcleo, funcionando como enrolamento primário. Já na Figura 15, temos um TC tipo bucha, projetado para se encaixar em uma bucha de alta tensão.

Figura 13 - Transformador de corrente de BT do tipo janela



Fonte: Merlin (2020).

Figura 14 - Transformador de corrente de BT do tipo barra



Fonte: Merlin (2020).

Figura 15 - Transformador de corrente de AT do tipo bucha



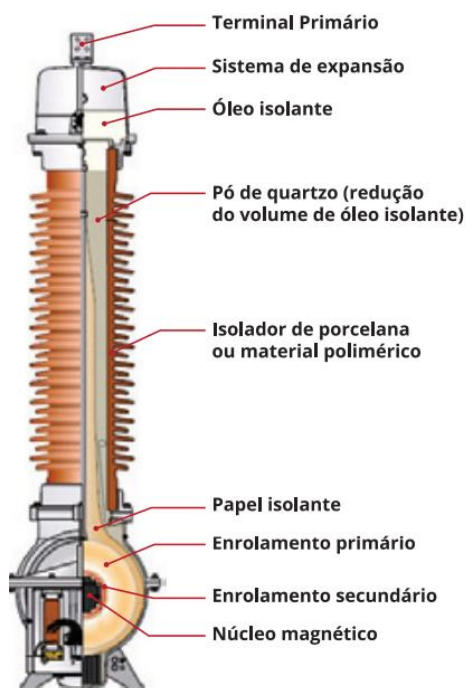
Fonte: Merlin (2020).

2.1.2.6 Transformador de Potencial

Assim como o TC, o transformador de potencial (TP) também é essencial para o funcionamento dos instrumentos de medição e proteção. A principal função do TP é reduzir o nível das tensões para valores mais acessíveis, permitindo a conexão aos equipamentos sem a necessidade de que estes possuam isolamento de tensão compatível com a rede à qual estão conectados. As tensões obtidas no secundário dos TPs são normalmente padronizadas em 115 V ou $115/\sqrt{3}$ V (Mamede Filho, 2019).

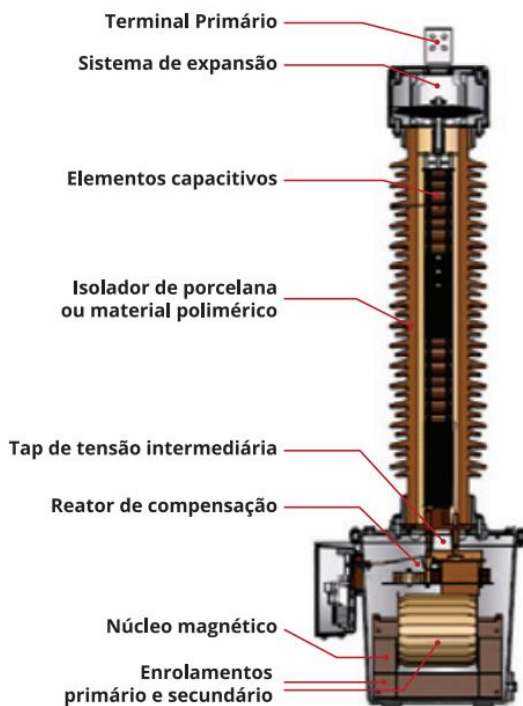
Os TPs utilizados em sistemas elétricos de potência podem ser classificados em dois tipos básicos: indutivos e capacitivos. O Transformador de Potencial Indutivo (TPI) funciona exclusivamente com base no princípio eletromagnético, onde um fluxo magnético é gerado através do enrolamento primário, que, ao passar pelo enrolamento secundário, produz uma tensão de menor valor. Esses TPs são geralmente utilizados para tensões de até 138 kV, na Figura 16 está apresentado o diagrama de construção do TPI. Já os Transformador de Potencial Capacitivo (TPC) é composto por dois conjuntos de capacitores que reduzem a tensão para um nível entre 5 e 15 kV. Em seguida, essa tensão é aplicada a um TP indutivo intermediário, que reduz ainda mais a tensão até o nível desejado, na Figura 17 está apresentado o diagrama de construção do TPI (Fergütz, 2021).

Figura 16 - Diagrama construtivo de transformador de potencial indutivo



Fonte: Frontin *et al.* (2013).

Figura 17 - Diagrama construtivo de transformador de potencial capacitivo



Fonte: Frontin *et al.* (2013).

As classes de exatidão dos TPs podem ser as seguintes: 0,3 – 0,6 – 1,2. Os TPs de classe 0,3 são destinados à medição de energia para fins de faturamento. Os TPs de classe 0,6 são utilizados para suprimento de aparelhos de proteção e medição, sem a finalidade de faturamento. Já os TPs de classe 1,2 são aplicados na medição indicativa de tensão ou, por vezes, para alimentação de algum disposto eletrônico de baixa potência que necessite de uma alimentação auxiliar local (Mamede Filho, 2019).

2.2 Etapas de Elaboração de Projetos

Antes de uma subestação entrar em operação, é necessário cumprir uma sequência de etapas essenciais. O processo começa com a identificação da necessidade de construção, o dimensionamento adequado e a elaboração do projeto básico. Após a conclusão do projeto básico, ocorre a elaboração do projeto executivo. Com isso, passam-se à construção e ao comissionamento da subestação, preparando-a para entrar em operação.

2.2.1 Estudo de Viabilidade

Para iniciar o desenvolvimento de projetos de uma subestação, é preciso verificar a necessidade de sua construção para conexão ao sistema elétrico. A implantação de novas subestações pode ser motivada por diversas razões, como o atendimento a novas demandas de carga, a integração de novas unidades de geração ao sistema ou a implementação de reforços destinados a garantir a confiabilidade e a estabilidade do sistema elétrico de potência.

Em geral, a escolha pela construção de uma subestação nova ou não, não é feita pelo projetista, mas sim pelo cliente e solicitante do acesso no SEP ou pelos órgãos governamentais, já que se consideram fatores como custo, tempo do empreendimento e viabilidade técnica e construtiva, além dos fatores relacionados ao próprio SEP. (Gonçalves, 2012, p. 177).

Após a decisão de construir a subestação, cabe à Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) ou à concessionária responsável avaliar os impactos que sua adição causará no Sistema Elétrico de Potência (SEP). De acordo com Gonçalves (2012), essa análise envolve o estudo de diversos aspectos, como correntes nominais e de curto-circuito, equipamentos existentes, fluxos de potência, fator de potência,

necessidade de desligamentos, seccionamentos de linhas, entre outros fatores que possam influenciar a operação e a confiabilidade do sistema.

2.2.2 Dimensionamento da Subestação

Nesta etapa são definidos o tipo de barramento, a tensão de operação, a quantidade de bays¹ para conexão de linhas, os transformadores e suas respectivas potências, além do número de alimentadores. Além disso, ocorre a definição preliminar dos equipamentos da subestação e a elaboração das especificações técnicas dos componentes que integrarão a subestação (Siqueira, 2024).

Essas informações são fornecidas pelas acessada através do parecer de acesso, além das condições impostas pela ONS através dos Procedimentos de Redes (ONS, 2022).

2.2.3 Projeto Básico

O projeto básico é a etapa inicial fundamental para o desenvolvimento de uma subestação. Ele envolve a elaboração de documentos que servem como base para a obtenção de licenças, a estimativa de custos dos equipamentos e a preparação do projeto executivo, garantindo o embasamento necessário para as fases subsequentes do empreendimento.

Entre os principais documentos elaborados em um projeto básico estão o diagrama unifilar simplificado e de proteção, que apresenta a conexão esquemática entre os principais componentes da subestação, e a planta com a alocação dos equipamentos dentro do terreno escolhido. Além disso, são realizados cortes do arranjo, que representam a disposição dos equipamentos e destacam detalhes essenciais do projeto (Siqueira, 2024).

¹ Unidade modular de uma subestação que agrupa equipamentos responsáveis por conectar, proteger e controlar os circuitos elétricos.

2.2.4 Projeto Executivo

O projeto executivo é a etapa que apresenta o maior nível de detalhamento, com o objetivo principal de viabilizar a execução da obra. Para isso, utiliza-se o projeto básico como base, aproveitando seus conceitos, critérios adotados e dimensionamentos iniciais, que são refinados e aprofundados durante o desenvolvimento do projeto executivo. (Silva, 2013).

Segundo Mamede Filho (2024), nesta etapa são desenvolvidos e detalhados com maior precisão as plantas, cortes, listas de cabos, diagramas unifilares e trifilares, além dos diagramas funcionais e construtivos dos painéis de proteção e controle, e os diagramas lógicos dos IEDs. Na parte civil, são elaborados os projetos de terraplenagem, fundações, drenagens, estruturas, pavimentações e edificações da subestação. Além disso, o projeto executivo inclui a elaboração de todos os memoriais descritivos e de cálculo necessários para a validação dos equipamentos, cabos e documentos elaborados.

Mamede Filho (2024) destaca a relevância dos estudos elétricos de conexão realizados nesta etapa do projeto, que variam conforme as exigências específicas de cada concessionária e a aplicação da subestação. Os principais estudos relacionados estão descritos a seguir:

- Estudo do fluxo de carga;
- estudo de curto-circuito;
- estudo de regime dinâmico;
- estudo de qualidade de energia.

2.2.5 Licenciamento e aprovações

Antes de iniciar a construção, é necessário obter todas as licenças ambientais necessárias, incluindo as licenças prévias, de instalação e de operação. Além disso, segundo Siqueira (2024), é fundamental realizar as “aprovações dos projetos junto à concessionária de energia e outros órgãos reguladores, bem como a autorização legal que permite iniciar as obras para implantar a subestação.”

2.2.6 Implantação (Construção)

A etapa da construção da subestação requer implementar o projetado e colocar na prática. Inicia-se com a parte civil, onde é feita a terraplanagem, preparação do terreno com drenagens, construção de vias, canaletas, bases para equipamentos, pórticos, casas de comando e edificações do empreendimento.

Na parte eletromecânica, são instalados os equipamentos, como transformadores, chaves, disjuntores de média e baixa tensão, além dos quadros de distribuição de baixa tensão. Também são realizados os trabalhos de instalação dos cabos de média e baixa tensão. Nesta etapa ocorre a montagem dos quadros de proteção e a parametrização dos relés de proteção (Siqueira, 2020).

2.2.7 Comissionamento

Por último ocorre o comissionamento, que “é um processo sistemático e documentado de verificar, inspecionar e testar os sistemas e componentes de uma planta industrial para garantir que estejam configurados e funcionando conforme especificações técnicas e operacionais do projeto.” (Abecom, 2024).

Nas subestações são realizados testes nos sistemas de proteção e controle e, se necessário, efetuados ajustes finais. Além do mais, ocorre a compilação da documentação técnica e operacional, bem como o treinamento das equipes de operação (Siqueira, 2024).

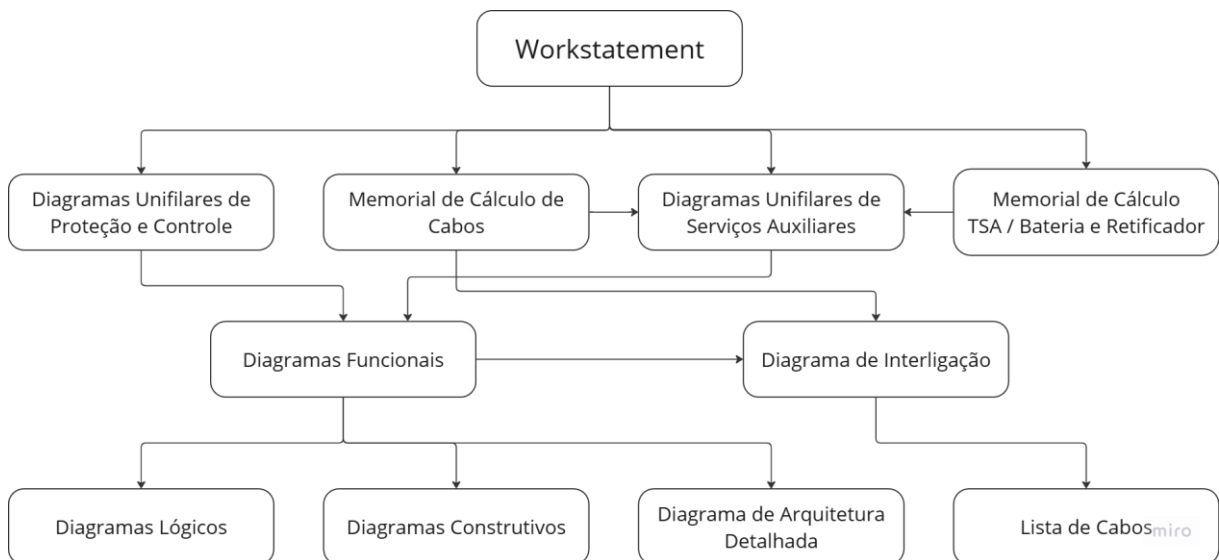
3 PROJETO EXECUTIVO DE SPCS

Este capítulo tem como objetivo apresentar os principais documentos elaborados em um projeto executivo de SPCS de uma subestação e como deverá ser a comunicação entre projetista e cliente para o bom andamento do projeto. Para isso, é apresentado um fluxograma que ilustra o fluxo do processo, destacando as etapas a serem seguidas. O destaque está na relevância de cada documento e nos desafios associados à sua elaboração.

3.1 Documentos Elaborados

Para a elaboração de um projeto executivo de SPCS, diversos documentos precisam ser entregues ao cliente, abrangendo desde o *Workstatement* até os diagramas construtivos e listas de cabos. A Figura 18 ilustra o fluxo e a dependência entre esses documentos, mostrando que a não conclusão de um deles pode comprometer o desenvolvimento das etapas seguintes.

Figura 18 - Fluxograma dos documentos de SPCS



Fonte: Elaboração própria (2025).

3.1.1 Workstatement

O *Workstatement* é o principal documento em projetos executivos de SPCS. Nele estão descritas as principais informações sobre o empreendimento, critérios de projeto para o fornecimento de SPCS, detalhamento do escopo, especificações dos cabos de controle e comunicação, além dos dispositivos auxiliares. O documento também inclui diretrizes para inspeção, ensaios e testes dos painéis, além de orientações sobre itens sobressalentes e treinamentos.

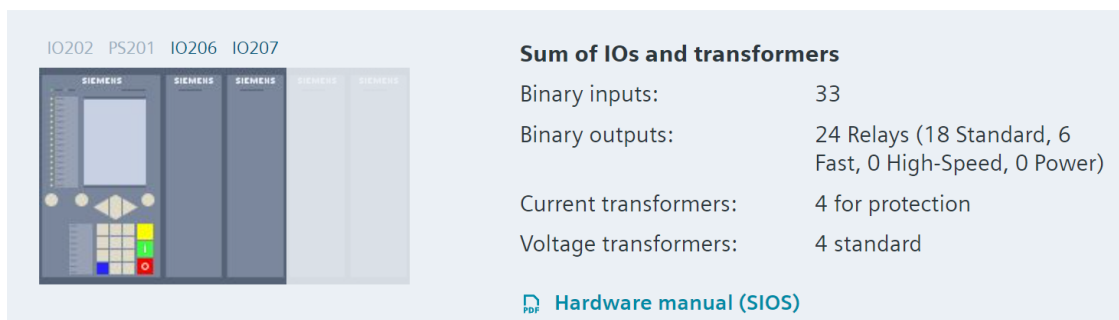
3.1.1.1 Definições realizadas

No *Workstatement* são definidos os equipamentos de SPCS que deverão ser adquiridos para a subestação, sendo os relés de proteção os principais componentes. Para isso, deverá ser determinado com antecedência quais equipamentos serão instalados, quais as seccionadoras serão motorizadas, o tipo de disjuntor e o modelo do transformador ao iniciar o projeto executivo.

O recebimento dos esquemáticos elétricos desses equipamentos é fundamental para identificar a quantidade necessária de entradas digitais, entradas analógicas e saídas digitais de IEDs, para garantir a proteção completa dos sistemas. Com essas informações o projetista define quais relés a construtora deverá adquirir para o empreendimento.

Na Figura 19, apresenta-se um relé especificado para a proteção de uma linha de transmissão de 138 kV, configurado com 33 entradas digitais, 24 saídas digitais, 4 entradas de corrente e 4 entradas de tensão.

Figura 19 - Relé de proteção de linha



Fonte: Siemens (2025b).

Além dos documentos dos equipamentos que a construtora irá adquirir para o empreendimento, as Especificações Técnicas (ET) da distribuidora, futura proprietária da subestação, e o descritivo técnico da obra também servem como diretrizes para as definições no *workstatement*.

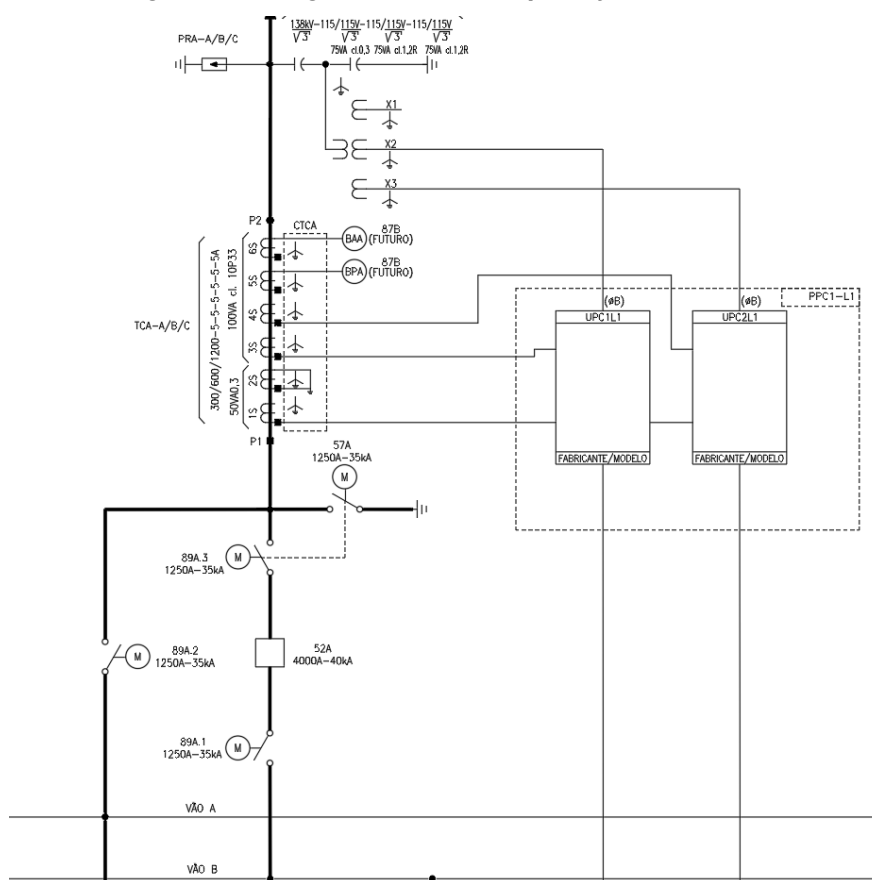
As ET detalham os componentes e padrões a serem seguidos, incluindo tipos e fabricantes de bornes, padrões de anilhas de identificação, cores e seções dos condutores internos, além da especificação de relés auxiliares. Esses documentos também estabelecem diretrizes para treinamentos e requisitos de garantia exigidos pela distribuidora.

3.1.2 Diagramas Unifilares

Os diagramas unifilares já veem elaborados na etapa do projeto básico da subestação, mas durante o projeto executivo podem ocorrer alterações pertinentes para alinhar com as exigências e expectativas da distribuidora. Esses documentos proporcionam uma visão clara dos equipamentos e das conexões entre eles. No diagrama unifilar de proteção e controle, ocorre a validação da relação de transformação, da classe de exatidão e número de enrolamentos de equipamentos como os TCs e TPs definidas no projeto básico, além de conter informações como o nível de curto-circuito dos equipamentos. São representadas as conexões com os painéis de proteção e controle e as ligações com os painéis de medição operativa da subestação.

Na Figura 20 tem-se um exemplo de uma representação básica de um diagrama unifilar de proteção e controle de linha de transmissão. Nessa representação pode-se notar a presença de para-raios (PRA-A/B/C), TPC e TC (TCA-A/B/C) com suas respectivas relações de transformação e conexões aos IEDs, seccionadoras (89) e o disjuntor (52) com sua corrente nominal e de curto-circuito, com as barras formando um arranjo principal e transferência.

Figura 20 - Diagrama unifilar de proteção e controle



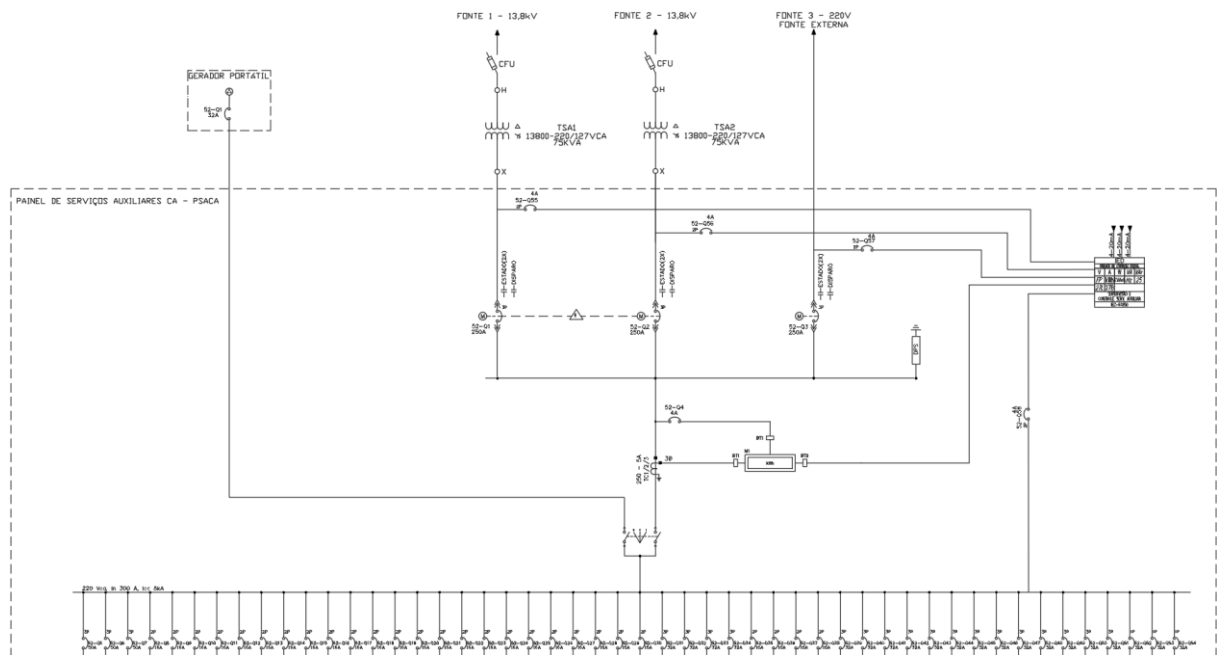
Fonte: Elaboração própria (2025).

Os diagramas unifilares de serviços auxiliares representam a distribuição da tensão auxiliar para painéis e equipamentos, tanto em Corrente Alternada (CA) quanto em Corrente Contínua (CC). O nível de tensão é definido nas ET e apresentado no *workstatement*.

Esses diagramas além de representarem a distribuição para os demais painéis e equipamentos através dos mini disjuntores, ilustram as entradas do quadro de distribuição de CA, que recebe alimentação de uma fonte externa que conecta aos Transformadores de Serviço Auxiliar (TSA), alterando a tensão de 13,8kV para 220/127V, fornecendo energia ao painel, conforme a Figura 21.

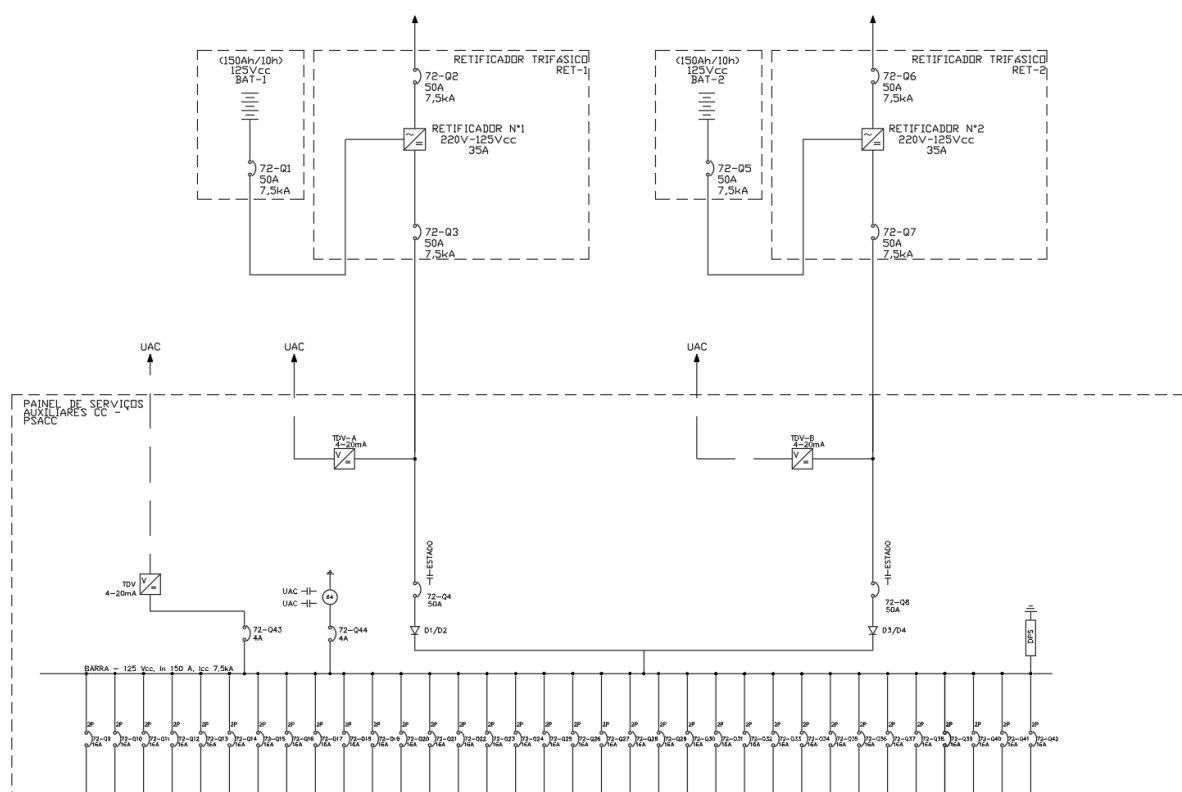
Na Figura 22, o quadro de CC é energizado por dois circuitos provenientes do quadro de distribuição de CA, que alimenta os retificadores responsáveis por converter a energia de CA para CC, alimentando os circuitos auxiliares CC e carregando as baterias que irão suprir a alimentação durante uma falta de energia.

Figura 21 - Diagrama unifilar de serviços auxiliares CA



Fonte: Elaboração própria (2025).

Figura 22 - Diagrama unifilar de serviços auxiliares CC



Fonte: Elaboração própria (2025).

Para a conclusão desses documentos é necessário ter informações detalhadas sobre os equipamentos, como o tipo de alimentação do motor de disjuntores e seccionadoras, que pode ser em CA ou CC, dependendo do fabricante. Além disso, é necessário finalizar a memória de cálculo dos TSA, do banco de baterias e do retificador, bem como a memória de cálculo dos cabos que servirá de base para a definição dos disjuntores.

3.1.3 Memórias de Cálculos

As memórias de cálculos servem para demonstrar as metodologias e cálculos utilizados para dimensionar os equipamentos e cabos até chegar no resultado.

3.1.3.1 TSA

Para definir a potência do TSA, é necessário levantar todas as cargas alimentadas em CA, considerando também o fator de demanda e o fator de diversidade. Esses fatores representam, respectivamente, o percentual de utilização de cada equipamento e a variação no tempo em que diferentes cargas operam, já que nem todas funcionam simultaneamente.

Algumas cargas alimentadas por esses circuitos são:

- aquecimento de painéis e equipamentos;
- edificações;
- motores;
- retificadores;
- tomadas e iluminação;
- transformador (comutador e ventilação forçada).

A maior dificuldade nesse levantamento de cargas é a falta de informações detalhadas sobre os equipamentos que serão adquiridos para a subestação. Diante disso, muitas vezes é necessário recorrer a estimativas utilizando como referência equipamentos com o mesmo nível de tensão e potência utilizados em projetos anteriores da projetista e, na falta destes, a uma busca mais demorada.

Ao fim é aplicado um fator de demanda médio para chegar na potência em kVA do transformador.

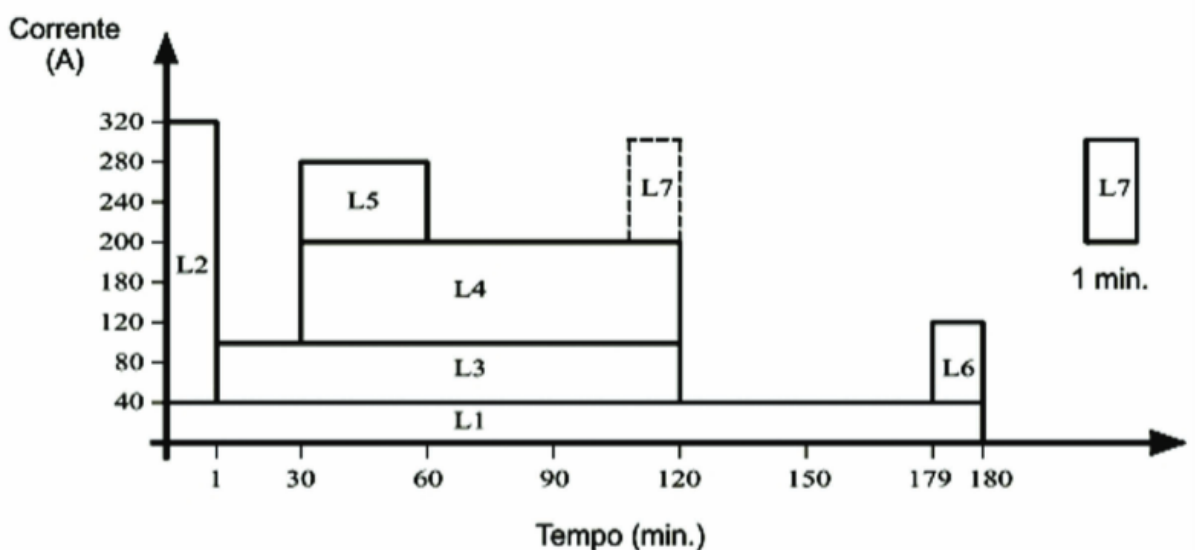
3.1.3.2 Baterias e Retificador

Os serviços auxiliares em CC são alimentados pelo retificador e pelo banco de baterias, que garante o fornecimento de energia em caso de falha na alimentação principal.

Para calcular a capacidade das baterias, é fundamental classificar as cargas em quatro categorias: momentâneas, permanentes, de tempo limitado e cargas contínuas. As cargas momentâneas são aquelas de curta duração, mas que podem ocorrer repetidamente ao longo do ciclo de descarga, como as bobinas dos disjuntores. As cargas permanentes permanecem ligadas continuamente, como os equipamentos de proteção e comunicação. Já as cargas de tempo limitado estão relacionadas à recomposição do sistema, incluindo o fechamento em sequência dos disjuntores críticos de pátio e do painel de serviço auxiliar CA.

A norma que orienta o cálculo da capacidade das baterias é a NBR 15254 – Acumulador chumbo-ácido estacionário: Diretrizes para dimensionamento (ABNT, 2005). Na Figura 23, apresenta-se o diagrama de perfil de descarga, que representa, de forma genérica, a distribuição da alimentação das cargas ao longo do tempo.

Figura 23 - Perfil de descarga



Fonte: NBR 15254 (2006).

No diagrama de perfil de descarga, L1 representa o acionamento das cargas permanentes, enquanto L2 corresponde às cargas momentâneas. Já L3, L4 e L5 indicam as descargas das cargas contínuas, e L6 refere-se ao acionamento das cargas de tempo limitado, destinadas à recomposição do sistema.

Após determinar todos os valores de carga, é necessário multiplicá-los pelo fator de capacidade da bateria, representado pela letra K, considerando uma curva de descarga de 10 horas. Em seguida, calcula-se a capacidade do elemento para a seção mais crítica do ciclo de descarga. Esse fator deve ser fornecido pelo fabricante da bateria, o que pode dificultar um cálculo preciso caso essa informação não esteja disponível.

Por fim, a escolha comercial da bateria é feita multiplicando o valor calculado por um fator de envelhecimento de 25% e um fator de segurança de 10%, conforme estabelecido pela norma NBR 15254, além do fator de temperatura.

O retificador deve ser dimensionado para fornecer a corrente permanente de todo o barramento, garantindo o funcionamento mesmo em caso de falha de outro retificador. Além disso, ele deve suprir a corrente de flutuação necessária para manter a bateria carregada. Dessa forma, soma-se a corrente permanente com a corrente de carga da bateria e, para maior segurança, aplica-se um fator adicional de 10% no cálculo da corrente de alimentação do retificador.

3.1.3.3 Cabos

O cálculo dos cabos de baixa tensão da subestação é realizado com base na norma NBR 5410 – Instalações Elétricas de Baixa Tensão, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (ABNT, 2004). Para o dimensionamento dos cabos, tanto em CA quanto CC, são considerados três critérios: capacidade de condução de corrente, queda de tensão e curto-circuito.

A capacidade de condução de corrente é a corrente máxima que o cabo pode suportar nas condições da instalação em que se encontra. Para isso, aplicam-se fatores de correção, como o fator de correção de temperatura, fator de agrupamento e fator de resistividade térmica do solo (aplicado quando a instalação for enterrada). Desta forma, encontrasse a corrente corrigida para o condutor utilizado.

Para o critério queda de tensão são utilizados os valores máximos de queda de tensão apresentados na NBR 5410, são eles:

- 7%, calculados a partir dos terminais secundários do transformador MT/BT, no caso de transformador de propriedade da(s) unidade(s) consumidora(s);
- 7%, calculados a partir dos terminais secundários do transformador MT/BT da empresa distribuidora de eletricidade, quando o ponto de entrega for aí localizado;
- 5%, calculados a partir do ponto de entrega, nos demais casos de ponto de entrega com fornecimento em tensão secundária de distribuição;
- 7%, calculados a partir dos terminais de saída do gerador, no caso de grupo gerador próprio. (ABNT, 2004, p. 115).

O cálculo da queda de tensão é realizado através da Equação 1 para circuitos trifásicos e pela Equação 2 para circuitos monofásicos, ambas presente na NBR-5410 (ABNT, 2004):

$$\Delta V = \sqrt{3} \cdot \frac{I_{NOM}}{cabos/fase} \cdot [R_{CABO} \cdot L \cdot \cos(\varphi) + X_{CABO} \cdot L \cdot \sin(\varphi)] \quad (1)$$

$$\Delta V = 2 \cdot \frac{I_{NOM}}{cabos/fase} \cdot [R_{CABO} \cdot L \cdot \cos(\varphi) + X_{CABO} \cdot L \cdot \sin(\varphi)] \quad (2)$$

Onde:

ΔV - queda de tensão no circuito (Volts);

R_{cabo} - resistência do cabo (ohm/km);

X_{cabo} - reatância do cabo (ohm/km);

I_{NOM} - corrente nominal da carga (A);

φ - ângulo do fator de potência;

L - comprimento do cabo (km).

Com isso, percebe-se que, além das informações sobre as cargas auxiliares dos equipamentos para o cálculo da corrente nominal, também é essencial considerar o comprimento do cabo. Para isso, é necessário que o arranjo eletromecânico esteja definido, permitindo a medição precisa das distâncias necessárias.

O critério de curto-circuito é avaliado no final do alimentador, utilizando a corrente de curto-circuito obtida por meio dos estudos elétricos. Caso o estudo não seja solicitado pelo cliente ou pela distribuidora, podem ser considerados os valores fornecidos pelos próprios equipamentos. O cálculo da validação da seção do cabo

com relação ao critério de curto é realizado conforme Equação 3, presente na NBR-5410 (ABNT, 2004):

$$S \geq \frac{I_{cc} \times \sqrt{t}}{K} \quad (3)$$

Onde:

I_{cc} = corrente de curto-circuito trifásica simétrica calculada.

t = duração, ou seja, tempo de abertura da proteção.

$K = 143$, para cabos de cobre com isolamento de EPR.

S = seção mínima do condutor em mm².

Assim chegamos aos resultados do dimensionamento dos condutores dos circuitos CA e CC da subestação.

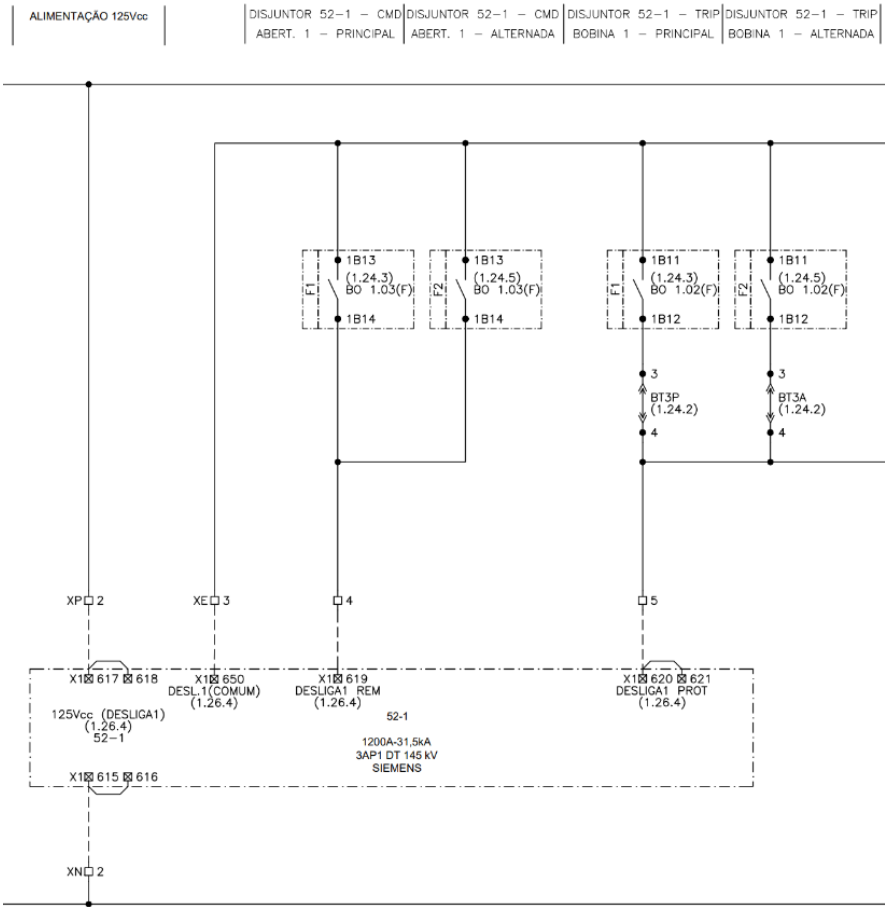
3.1.4 Diagrama Funcional

O diagrama funcional é uma representação gráfica dos sistemas e equipamentos, utilizado para ilustrar como as diferentes partes do sistema estão interconectadas e como a energia ou as informações fluem entre elas. Cada painel da subestação, seja de proteção, medição ou serviços auxiliares, possui seu próprio diagrama funcional.

Um diagrama funcional abrange diversos tópicos dentro do documento. Ele inicia com a representação do diagrama unifilar do painel e suas conexões, seguido pelo diagrama trifilar. É representado a distribuição da alimentação em CA e CC dentro do painel, assim como os circuitos de abertura e fechamento de disjuntores e seccionadoras. Além disso, exibe as saídas digitais que são responsáveis tanto por acionar os equipamentos, como disjuntores e seccionadoras, quanto por enviar sinais para outros painéis.

A Figura 24 mostra a representação do acionamento da bobina de abertura de um disjuntor, onde o IED principal e o alternado enviam, cada um através de uma saída digital, um sinal de trip indicando que é necessário abrir o circuito devido a uma falha ou, através de outras saídas, enviam um comando para abertura do disjuntor.

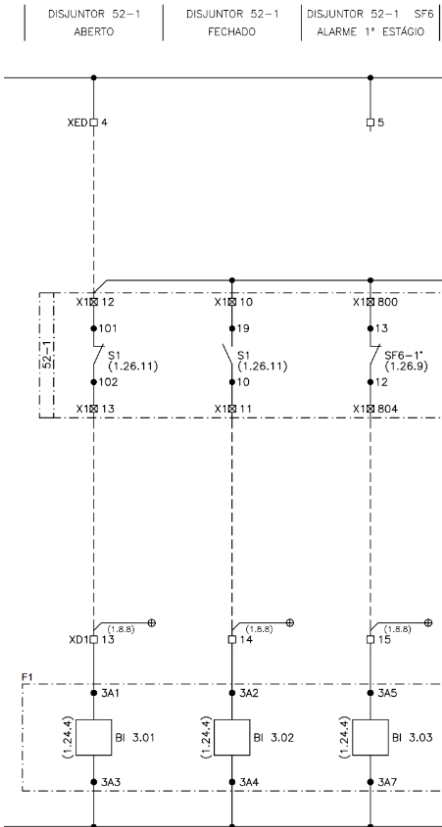
Figura 24 - Comando de abertura e trip de disjuntor



Fonte: Elaboração própria (2025).

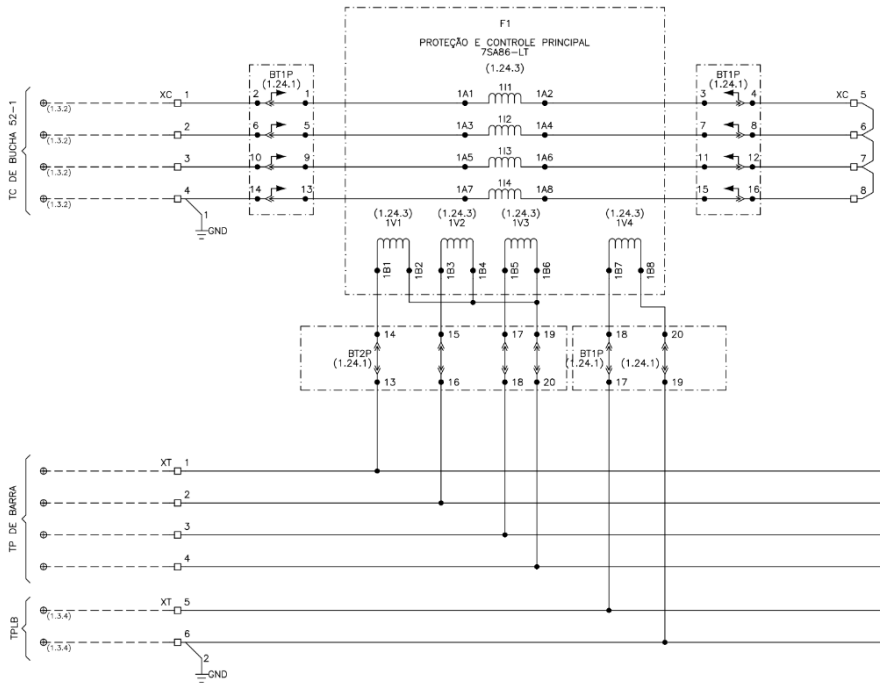
Para o IED realizar os comandos necessários ele aquisita sinais dos mais diversos equipamentos da subestação através das entradas digitais, podendo ser como o sinal de status de um disjuntor se ele está aberto ou fechado ou alarme de falta de gás isolante, conforme a Figura 25. Na Figura 26, a corrente e tensão são representadas no funcional chegando nas entradas analógicas dos IEDs passando antes pelos blocos de testes, responsáveis por deixar testar os IEDs sem que seja necessário desenergizar a subestação.

Figura 25 - Entradas digitais IED



Fonte: Elaboração própria (2025).

Figura 26 - Entradas analógicas IED



Fonte: Elaboração própria (2025).

Além dos acionamentos dos equipamentos e das funcionalidades do IED, o diagrama funcional também representa os bornes e os blocos de testes utilizados, além de todas as conexões de veias, que representam as conexões entre equipamentos ou painéis diferentes, e cabos, que são conexões dentro do mesmo painel. Para isso as definições realizadas no *workstatement* são de grande importância, é nessa etapa que começam a ser moldadas as listas de materiais para que possa ser inserida nos documentos seguintes.

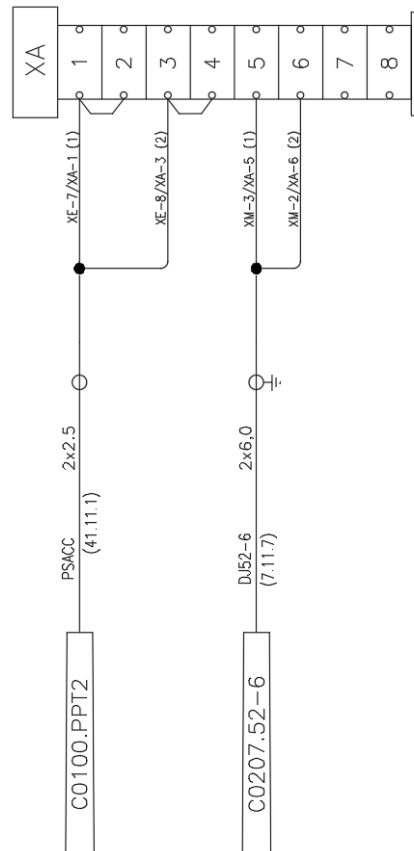
Assim como em outros documentos, a falta de informações sobre os equipamentos prejudica significativamente a elaboração dos diagramas funcionais. Muitas vezes, torna-se necessário improvisar com contatos e acionamentos de equipamentos semelhantes de outros projetos para viabilizar a emissão e cumprir os marcos contratuais. No entanto, após o recebimento dos diagramas elétricos dos equipamentos, são frequentemente necessárias revisões substanciais nos diagramas funcionais, resultando em muitas horas de retrabalho e atrasos não previstos.

3.1.5 Diagrama de Interligação

Após a conclusão da etapa de cálculo dos cabos na memória de cálculo e a definição deles no diagrama funcional, inicia-se a elaboração do diagrama de interligação.

O diagrama de interligação é um esquema que representa todos os bornes do painel, os cabos de conexão, os nomes das interligações, a quantidade de veias, a seção dos condutores e o endereçamento para os demais documentos. Cada funcional terá um diagrama de interligação correspondente. Na Figura 27, tem-se uma representação de uma régua de oito bornes contida em um painel, onde saem dois cabos, um de duas veias e 2,5 mm² e outro com duas veias e 6,0 mm².

Figura 27 - Representação de borne em diagrama de interligação



Fonte: Elaboração própria (2025).

A partir da conclusão desse documento pode ser realizada a elaboração da lista de cabos.

3.1.6 Lista de Cabos

As listas de cabos auxiliam a construtora na organização e aquisição dos cabos necessários para a instalação, facilitando a montagem, a manutenção e futuras ampliações. Essa lista reúne informações essenciais, como nome do cabo, origem e destino, aplicação, formação e comprimento total.

A Figura 28 a seguir apresenta três exemplos de aplicação de uma lista de cabos: o primeiro para a conexão de alimentação em CC destinada ao fechamento de um disjuntor de 138 kV; o segundo para a sinalização de posição de uma seccionadora; e o terceiro para o circuito de comando de abertura e fechamento da seccionadora.

Figura 28 - Lista de cabos

Cabo		Equipamentos		Aplicação	Formação	COMP. (m)
ITEM	NOME	Origem	Destino			
1	C0100.52-1	PPL1	DJ. 52-01	ALIMENTAÇÃO 125VCC / FECH./ ABERT1	(4x4,0)	60
2	C0100.89-1	PPL1	SECC. 89-01	SINALIZAÇÃO 89-1	(4x1.5)	64
3	C0100.89-2	PPL1	SECC. 89-02	COMANDO ABRIR/FECHAR/89.2	(4x2.5)	60

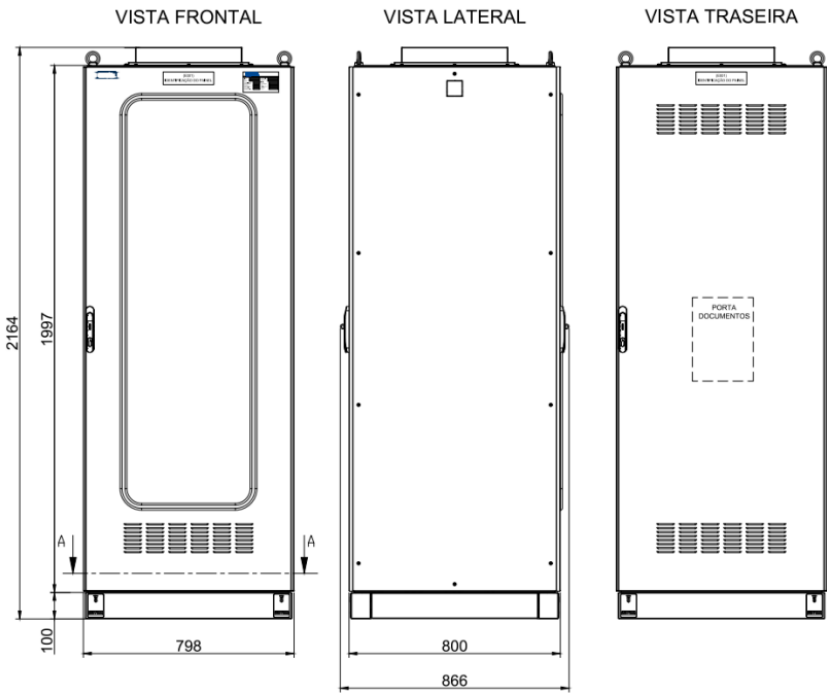
Fonte: Elaboração própria (2025).

3.1.7 Diagrama Construtivo

Para que um painel seja enviado para construção, é necessário elaborar os diagramas construtivos. Esses documentos destacam as dimensões dos painéis por meio de desenhos, incluindo vistas e cortes.

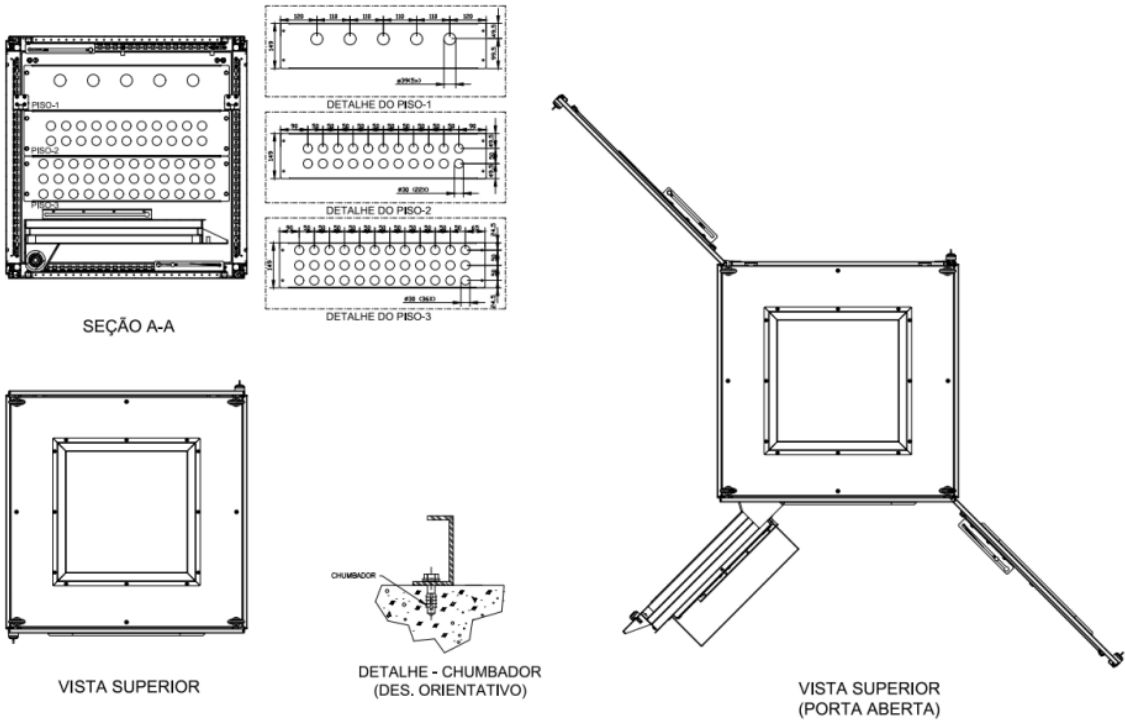
Os diagramas construtivos representam a posição e a quantidade de bornes e seus trilhos, blocos de testes, disjuntores, relés auxiliares, tomadas, termostato, resistência de aquecimento, IED e demais equipamentos que serão instalados no painel. Na Figura 29, Figura 30, Figura 31 e Figura 32 têm-se a representação genérica de um construtivo de painel de proteção, nas quais são representadas as dimensões do painel, detalhes da entrada de cabo através da vista inferior, detalhes da montagem dos equipamentos na porta basculante e na placa de montagem interna.

Figura 29 - Painel de proteção e controle – vista frontal, lateral e traseira (externa)



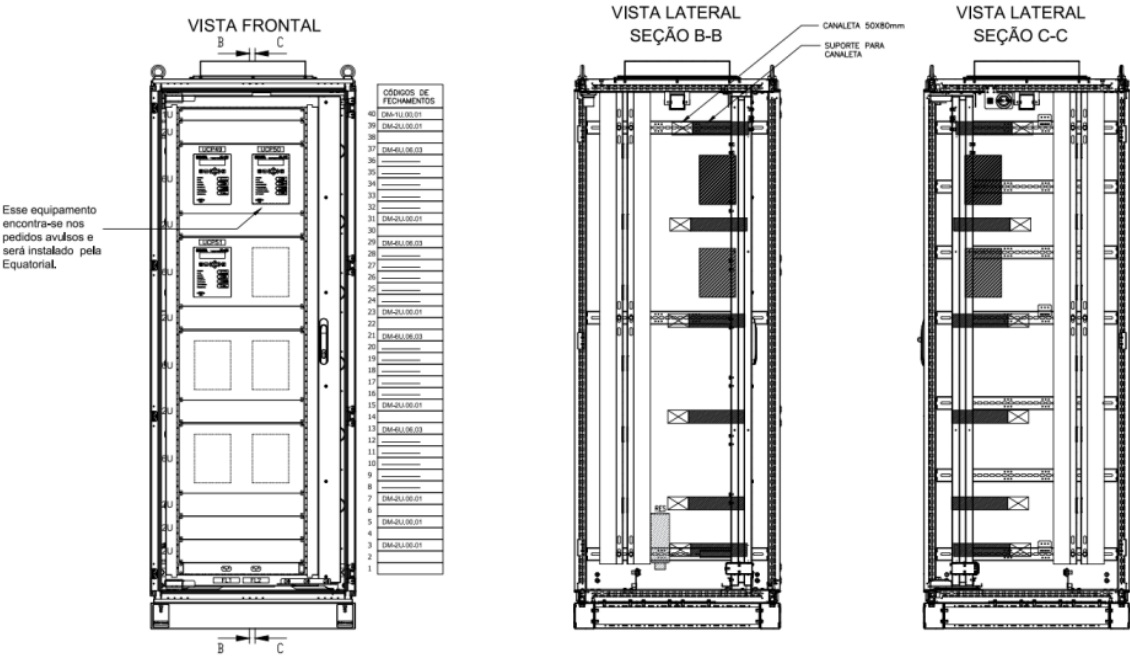
Fonte: Equatorial Energia (2024).

Figura 30 - Painel de proteção e controle - vistas superior e inferior



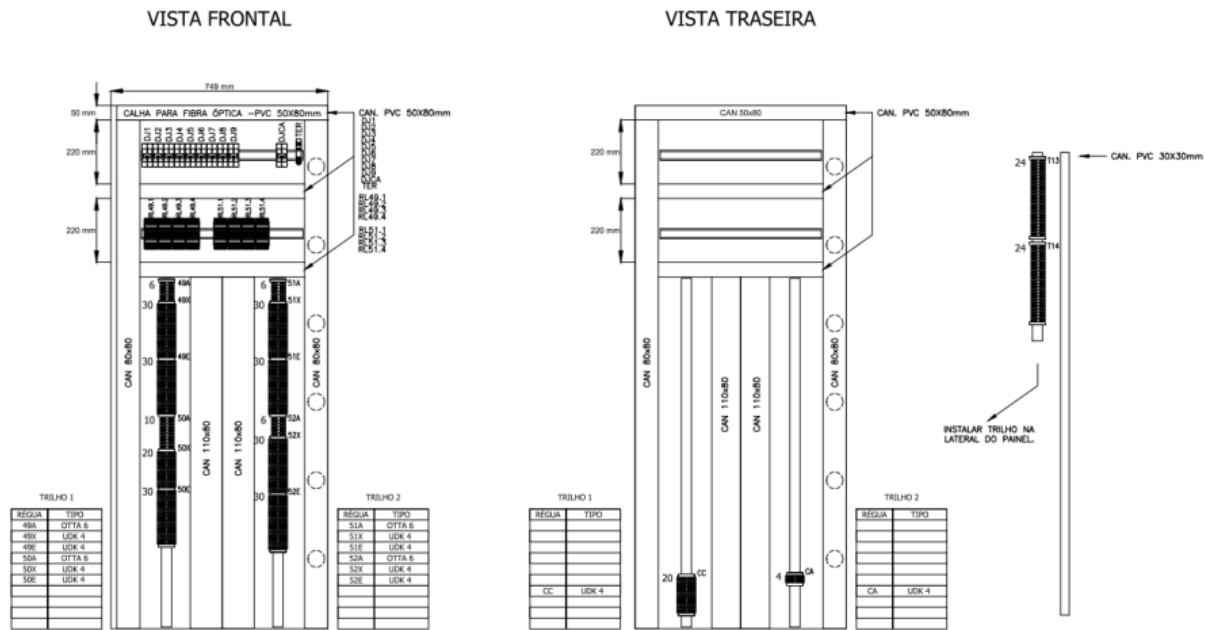
Fonte: Equatorial Energia (2024).

Figura 31 - Painel de proteção e controle – construtivos vistas – frontal e laterais (interno)



Fonte: Equatorial Energia (2024).

Figura 32 – Placa de montagem



Fonte: Equatorial Energia (2024).

Dentro do mesmo documento, são apresentadas a lista de materiais, contendo todo o quantitativo, fabricantes e modelos, e a lista de plaquetas, com todas as identificações que deverão ser aplicadas ao painel.

Na Figura 33, tem-se a representação de dois componentes de uma lista de materiais onde na segunda coluna é representada a quantidade de material, na terceira tem-se a tag que é utilizada no projeto, seguido da descrição do material, modelo e o fabricante. Na Figura 34 é ilustrada a representação da plaqueta que será instalada com o nome do equipamento e a sua função resumida, assim como as dimensões usualmente utilizadas.

Figura 33 - Lista de materiais

Índice	Quant	Tag	Descrição	Modelo	Fabricante
1	2	F1, F2	RELÉ DIGITAL ENTRADAS DIGITAIS.....: 33 SAÍDAS DIGITAIS.....: 24 ALIMENTAÇÃO AUXILIAR.....: 60/250 VDC / 100/230 VAC ENTRADA CORRENTE.....: 4 ENTRADA TENSÃO.....: 4 QTD. PORTAS ALIMENTAÇÃO.....: 1 PORTAS DE COMUNICAÇÃO.....: 2x optical Ethernet 100 Mbit/s, 1300 nm, duplex LC connector QTD. LED.....: 16 MONTAGEM.....: EMBUTIDO DIMENSÕES.....: 2/3 x 19' MODELO.....: 7SA86 FABRICANTE.....: SIEMENS	7SA86-P1A638296	SIEMENS
2	2	BT1P, BT1A	BLOCO DE TESTE CHAVES DE POTENCIAL.....: 2 CHAVES DE CORRENTE CC.....: 8 CONFIGURAÇÃO.....: V(VM)-CC(PT)-CC(PT)-CC(PT)-CC(PT)-V(VM) *POLOS DE TENSÃO DE COR VERMELHA MODELO.....: FMS-10AB FABRICANTE.....: STATES	FMS-10AB	STATES

Fonte: Elaboração própria (2025).

Figura 34 - Lista de plaquetas

POS	GRAVAÇÃO	TAMANHO 2	POS	GRAVAÇÃO	TAMANHO 2
QT.			QT.		
E2	F1 UNIDADE DE PROTEÇÃO PRINCIPAL		E7	72C2 F2	
1			1		

TAMANHO	ESPAÇO PARA GRAVAÇÃO		ALTURA DA LETRA	DIMENSÃO	FIXAÇÃO
	TIPO LETRA	Nº DE LINHAS			
1	ARIAL		10	3 x 50 x 200 mm	COLADA
2	ARIAL		3	3 x 15 x 60 mm	COLADA
3(ABS)	ARIAL		3	3 x 15 x 30 mm	COLADA

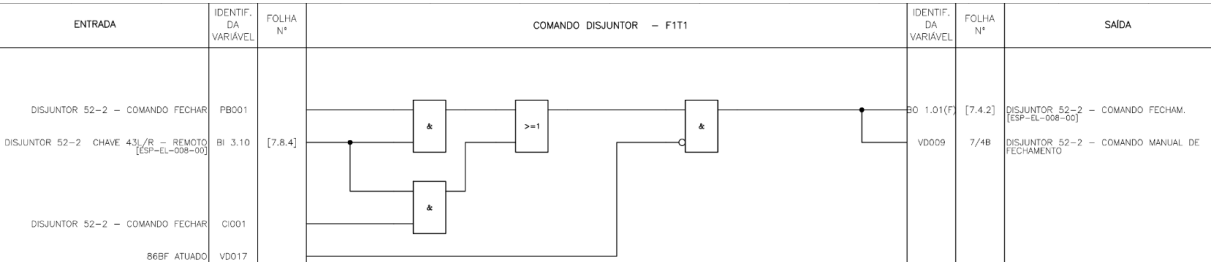
Fonte: Elaboração própria (2025).

3.1.8 Diagrama Lógico

O diagrama lógico utiliza representações gráficas para demonstrar o comportamento lógico do sistema. Essas lógicas servem como base para a configuração dos relés de proteção na etapa de comissionamento da subestação.

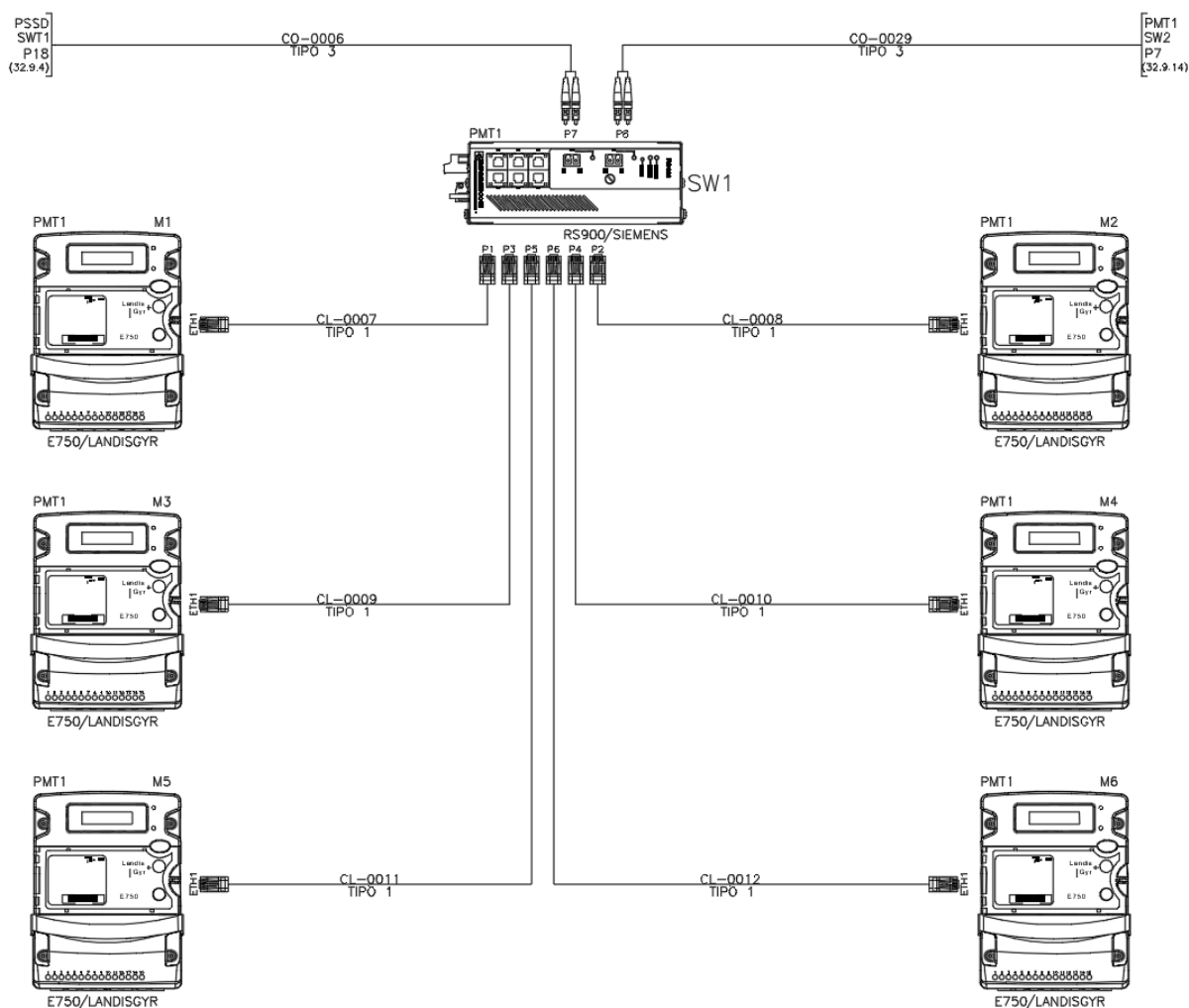
Portas lógicas são utilizadas para representar as condições de acionamento, como a abertura de um circuito por meio de um disjuntor. A Figura 35 exibe a representação de um acionamento para o fechamento de disjuntor, onde tem-se como entrada o comando de fechar, a posição da chave interna do disjuntor, que indica se o comando será remoto ou local, e a atuação do relé 86BF que impede o fechamento do circuito caso esteja atuado. Na outra extremidade tem as saídas que foram processadas e que serão responsáveis por entregar o comando para o equipamento, ou até mesmo servir de entrada para outra lógica.

Figura 35 - Lógica para comando fechamento de disjuntor



Fonte: Elaboração própria (2025).

Figura 37 - Arquitetura painel de medição



Fonte: Elaboração própria (2025).

A elaboração desse material torna-se difícil devido à falta de informações sobre os equipamentos e aos desenhos fornecidos pelos fabricantes.

Na Figura 38, tem-se a representação de trechos de cabos que compõem uma arquitetura detalhada, onde cada cabo possuirá a sua tag, o que é importante para identificar em campo por meio das anilhas que indicam o nome do cabo. Também são indicadas as informações de origem e destino, como o equipamento, a porta e tipo de conector estão inseridos e, por fim, o comprimento de cada cabo.

Figura 38 - Lista de cabos da arquitetura

CABO LAN													
CABO		ORIGEM					DESTINO					TIPO	COMPRIMENTO
ITEM	TAG	EQUIPAMENTO	DISPOSITIVO	PORTA	CONECTOR	PÁGINA	EQUIPAMENTO	DISPOSITIVO	PORTA	CONECTOR	PÁGINA		
1	CL-0001	PSSD	GPS	ETH1	RJ45	32.9.3	PSSD	SWT1	P3	RJ45	32.9.4	1	2
2	CL-0002	PSSD	SOL/SMAL	ETH1	RJ45	32.9.3	PSSD	SWT1	P1	RJ45	32.9.4	1	2
3	CL-0003	PSSD	CTR	ETH1	RJ45	32.9.3	PSSD	SWT2	P1	RJ45	32.9.4	1	2

CABO COAXIAL													
CABO		ORIGEM					DESTINO					TIPO	COMPRIMENTO
ITEM	TAG	EQUIPAMENTO	DISPOSITIVO	PORTA	CONECTOR	PÁGINA	EQUIPAMENTO	DISPOSITIVO	PORTA	CONECTOR	PÁGINA		
1	CC-0001	PSSD	GPS	C6	BNC	32.9.3	PSSD	ANTENA	1	BNC	32.9.3	1	20

CABO ÓPTICO													
CABO		ORIGEM					DESTINO					TIPO	COMPRIMENTO
ITEM	TAG	EQUIPAMENTO	DISPOSITIVO	PORTA	CONECTOR	PÁGINA	EQUIPAMENTO	DISPOSITIVO	PORTA	CONECTOR	PÁGINA		
1	CO-0001	PSSD	SWT1	P1	LC	32.9.4	PPL1	F1	CH1	LC	32.9.5	1	15
2	CO-0002	PSSD	SWT1	P2	LC	32.9.4	PPT1	F1	CH1	LC	32.9.6	1	13
3	CO-0003	PSSD	SWT1	P3	LC	32.9.4	PPT2	F1	CH1	LC	32.9.7	1	13

Fonte: Elaboração própria (2025).

3.2 Recebimento de Informações

O fluxo da elaboração dos documentos necessita que as informações necessárias sejam entregues até a projetista, para que assim, todos os prazos sejam cumpridos. Para isso, cinco etapas foram elencadas como essenciais para o recebimento e definições de informações, sendo subdivididos entre informações de entrada, documentos de saída e o tempo para elaboração.

3.2.1 Etapa 1

Considerando que, após a construtora assinar o contrato com a projetista e ser realizada a primeira reunião de alinhamento, fica sob a responsabilidade do cliente realizar o levantamento, junto com a dona do empreendimento, das seguintes informações.

- Informações de Entrada

Em uma primeira etapa de projeto deverá ser solicitado com a dona do empreendimento o descritivo técnico da obra, as ETs de projeto e o projeto básico realizado para a subestação.

- Documentos Elaborados

Com essas informações em mãos, a projetista já conseguirá definir os principais equipamentos de SPCS que a construtora deverá adquirir, estruturando o

workstatement e realizando a validação e emissão dos diagramas unifilares simplificados e de proteção e controle.

- Tempo para Elaboração

Levando em conta que a projetista nunca fez projeto para o cliente, é preciso considerar um certo tempo para o estudo das ET e entender como proceder com o alinhamento do projeto. Para isso, deve se considerar entre uma e duas semanas com uma mão de obra de duas pessoas, uma dando mais ênfase na elaboração do *workstatement* e a outra na validação dos documentos do projeto básico.

3.2.2 Etapa 2

Nessa etapa a construtora já terá em mãos a lista dos principais equipamentos e cotou com o fabricante para receber uma proposta técnica.

- Informações de Entrada

A construtora deverá fornecer a proposta técnica para que seja realizado a finalização do *workstatement*.

- Documentos Elaborados

Após o recebimento e validação da proposta, o *workstatement* estará finalizado e poderá ser enviado ao cliente. Além disso, inicia-se a elaboração dos diagramas de serviços auxiliares e os diagramas funcionais, a fim de adiantar o andamento do projeto.

- Tempo para Elaboração

Como o *workstatement* já estava estruturado e em processo de elaboração, após o recebimento das informações ele será emitido dentro do período de três dias.

3.2.3 Etapa 3

Neste momento é solicitado a projetista que envie os documentos elétricos referente aos equipamentos de pátio e que irão impactar na elaboração dos diagramas de serviços auxiliares e dos diagramas funcionais.

- Informações de Entrada

A construtora já deverá ter adquirido os componentes de pátio que serão instalados, como transformadores de potencial, transformadores de proteção, seccionadoras e disjuntores. Além disso, deverá ter definido o modelo da bateria que será utilizada, para ser usado o fator K correto nos dimensionamentos da bateria.

- Documentos Elaborados

Com as informações a memória de cálculo do TSA, do retificador e das baterias poderá ser realizada, assim como os diagramas unifilares de serviços auxiliares.

Os diagramas funcionais poderão ser realizados com a chegada dos esquemas elétricos dos equipamentos.

- Tempo para Elaboração

Para a conclusão dos documentos citados; serão utilizadas duas pessoas, uma ficará responsável pela elaboração dos memoriais de cálculo e diagrama de serviços auxiliares, podendo concluí-los dentro do período de uma semana.

Os demais diagramas funcionais terão um prazo maior de entrega, considerando que cada painel terá um diagrama. Será necessário um período de três semanas para a conclusão desses documentos.

3.2.4 Etapa 4

A partir dessa etapa, a dependência de informações do cliente começa a cair, considerando que o *workstatement* está aprovado e com todas as informações preenchidas nele.

- Informações de Entrada

A partir desse momento é necessário que a parte eletromecânica da subestação esteja concluída para que possam ser medidas as distâncias para os cálculos na memória de cálculo de cabos.

- Documentos Elaborados

A memória de cálculo de cabos será realizada medindo as distâncias entre os equipamentos de pátio e os painéis de proteção, após realizada será feito o diagrama de interligação.

Além desses documentos, será elaborado o diagrama construtivo de cada painel, alocando todos os equipamentos utilizados no diagrama funcional. Esses construtivos são importantes para que a construtora mande para fabricação.

- Tempo para Elaboração

Assim como na etapa anterior, a elaboração desses documentos necessitará da mão de obra de duas pessoas, uma ficará responsável pela elaboração da memória de cálculo e diagrama de interligação e a outra pelos diagramas construtivos, concluindo os documentos em uma semana e meia.

3.2.5 Etapa 5

A última etapa do projeto também não necessitará de informações adicionais do cliente.

- Documentos Elaborados

Para a finalização do projeto de SPCS faltam apenas os diagramas lógicos, a arquitetura detalhada e as listas de cabos.

- Tempo para Elaboração

Com os equipamentos definidos, a arquitetura detalhada não exige muito trabalho para ser realizada, assim como as listas de cabos extraídas do diagrama de interligação. Dessa forma, ambas poderão ser concluídas em quatro dias.

Enquanto isso, os diagramas lógicos apresentam uma maior complexidade, considerando que terá um para cada painel, necessitando em média de duas semanas para a entrega final.

3.2.6 Entrega Final

A entrega final do projeto fica condicionada ao envio de todos os documentos dentro das etapas mostradas. Além das datas de entrega das informações, será interessante estipular datas para enviar os comentários dos documentos dentro um limite de tempo, evitando assim que surjam mudanças no início do fluxo que irão alterar todos os documentos já desenvolvidos.

Seguindo as etapas apresentadas anteriormente, o projeto executivo deverá ser concluído no período de aproximadamente 2 meses e meio, considerando que todas as informações serão fornecidas para a projetista.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sucesso na elaboração de projetos executivos de SPCS é uma etapa crucial para o bom funcionamento de uma subestação e depende que cada documento tenha uma elaboração interligada para que o fluxo seja contínuo e ocorra sem imprevistos.

Conforme observado, o *workstatement* é identificado como o documento base, e sua conclusão servirá de base para que os demais documentos consigam ser elaborados sem grandes imprevistos. No entanto, caso isso não ocorra, é possível adotar boas práticas para elaborá-los com pendências e referências de outras subestações, com o objetivo de dar continuidade no fluxo de documentos, cuidando-se para não fazer nenhuma consideração que possa ocasionar algum prejuízo financeiro ou temporal.

Através das etapas de recebimento de informações proposta, o projeto terá o fluxo certo e sem imprevistos para que a subestação seja construída o quanto antes. A apresentação para o cliente de um fluxograma e um cronograma de emissões diretamente ligado com os deveres do cliente, fazem com que a responsabilidade dos atrasos seja ligada a falta de informação.

Por fim, este trabalho abre caminho para uma série de trabalhos futuros. Uma sugestão está em realizar o mesmo processo de levantamento de documentos e formulação de etapas de projeto para a área de eletromecânica da subestação. Tais informações guiarão, assim como no SPCS, para que imprevistos de projetos não aconteçam.

REFERÊNCIAS

ABECOM, **Comissionamento o que é? Como fazer? Confira as 4 etapas.**

Disponível em: <https://www.abecom.com.br/comissionamento-o-que-e/>. Acesso em: 15 jan. 2025.

ABNT. Associação Brasileira De Normas Técnicas. **NBR 15254:** Acumulador chumbo-ácido estacionário - Diretrizes para dimensionamento. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT. Associação Brasileira De Normas Técnicas. **NBR 5410:** Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, 2004.

CHINT. **Disjuntor de alta tensão.** Disponível em:

<https://chintglobal.com.br/products/lw36-145-sf6-circuit-breaker-589-1231>. Acesso em 17 jun. 2024.

COGERA. **Entenda mais sobre os equipamentos de uma subestação de energia.** 2018. Disponível em: <https://cogera.com.br/equipamentos-de-uma-subestacao-de-energia/>. Acesso em: 17 jun. 2024.

D'AJUZ, Ary *et al.* **Equipamentos elétricos:** Especificação e aplicação em subestações de alta tensão. Rio de Janeiro: Furnas, 1985.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Resenha mensal do mercado de energia elétrica.** 2023. Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-153/topico-668/Resenha%20Mensal%20-%20Dezembro%202023%20\(base%20Novembro\).pdf#search=aumento%20do%20consumo](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-153/topico-668/Resenha%20Mensal%20-%20Dezembro%202023%20(base%20Novembro).pdf#search=aumento%20do%20consumo). Acesso em: 05 abr. 2024.

EQUATORIAL ENERGIA. **Especificação Técnica ET.00313.EQTL:** Revisão 01 – 2024. Disponível em: <https://ma.equatorialenergia.com.br/wp-content/uploads/2025/01/ET.00313.EQTL-01-Painel-de-Protecao-e-Controle.pdf>. Acesso em: 19 fev. 2025.

FERGÜTZ, Marcos. **TRANSFORMADORES PARA INSTRUMENTAÇÃO:**

Transformador de potencial (TP) nbr6855/2015 e transformador de corrente (TC) nbr6856/2015, 2021. Disponível em:

https://www.udesc.br/arquivos/udesc/id_cpmenu/9731/TRANSFORMADORES_PARA_INSTRUMENTA__O_v7_21_16261993849231_9731.pdf. Acesso em: 27 jun. 2024

FRONTIN, Sergio O. *et al.* **EQUIPAMENTOS DE ALTA TENSÃO** - Prospeção e Hierarquização de Inovações Tecnológicas. Brasília: Goya, 2013.

GONÇALVES, Renato Masago. **Guia de projeto para subestações de alta tensão.** São Carlos, 2012. Disponível em: <https://bdta.abcd.usp.br/item/003170975>. Acesso em: 08 jan. 2025.

IBERDROLA. **Subestações elétricas:** Você sabe como funciona uma subestação elétrica? 2024. Disponível em: <https://www.iberdrola.com/quem-somos/nossa-atividade/smart-grids/subestacoes-eletricas>. Acesso em: 27 maio 2024.

LUCIO, Viviane. **PDE: Brasil precisa investir R\$ 128,6 bi em linhas de transmissão até 2034:** Montante construirá 30 mil km de novas linhas e 82 mil MWA em subestações. 2024. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/pde-brasil-investir-r-1286-bi-linhas-transmissao-2034/>. Acesso em: 29 jan. 2025.

LUDWIG, Nicolas; WELZEL, Marcelo. Subestações. **Sinc**, 14 out. 2022. Disponível em: <https://sincjr.com.br/blog/subesta%C3%A7%C3%B5es>. Acesso em: 02 jun. 2024.

MAMEDE FILHO, João. **Manual de Equipamentos Elétricos**. 5ª Edição. Rio de Janeiro: LTC, 2019.

MAMEDE FILHO, João. **Subestações de alta tensão**. 1ª Edição. Rio de Janeiro: LTC, 2024.

MANASSERO JUNIOR, Giovanni. **Proteção e Automação de Sistemas Elétricos de Potência I** - Proteção eletromecânica, 2017. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4856669/mod_resource/content/1/eletromecanica.pdf. Acesso em: 18 jun. 2024.

MAURIZIO. **Para-raios Subestação Tipo MPS:** Catálogo Geral, 2021. Disponível em: <https://maurizio.com.br/arqsist/loja/BT-040-00pt.pdf>. Acesso em: 03 jun. 2024.

MESH ENGENHARIA. **Arranjo de Barras de Subestação**. 2022. Disponível em: <https://meshengenharia.com/2022/11/30/arranjo-de-barras-de-subestacao/>. Acesso em: 15 jan. 2025.

MERLIN, Victor. **Classificação dos Relés de Proteção por sua Tecnologia**, 2019. Disponível em: <https://curtociuitoesetividade.com.br/classificacao-dos-reles-de-protecao-por-sua-tecnologia/>. Acesso em: 21 jun. 2024.

MERLIN, Victor. **Transformador de Corrente:** Conceitos Preliminares, 2020. Disponível em: <https://medicaodeenergia.com.br/transformadores-de-correntes-conceitos-preliminares-2/>. Acesso em: 24 jun. 2024.

METRUM. **A importância dos Sistemas de Proteção e Controle e dos IED**. 2023. Disponível em: <https://memt.com.br/a-importancia-dos-sistemas-de-protecao-e-controle-e-dos-ied/>. Acesso em 08 dez. 2024.

MONTEIRO, P. R. D.; MIRANDA, J. M. **Arranjo de subestação:** um estudo de revisão bibliográfica. 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i14.21805>. Acesso em: 15 jan. 2025.

ONS. Operador Nacional do Sistema Elétrico. **Submódulo 2.6** - Requisitos mínimos para subestações e seus equipamentos. 10 ago. 2022. Disponível em:

https://ecmservice.ons.org.br/ecmprsite/ecmfragmentsdocuments/Subm%C3%B3dulo%202.6-RQ_2022.08.pdf. Acesso em: 09 jan. 2025.

PRONEXT, Engenharia. **ARRANJO DE SUBESTAÇÕES**. 2021. Disponível em: <https://pronextengenharia.com.br/configuracao-de-subestacoes/>. Acesso em: 17 jan. 2025.

PRONEXT, Engenharia. **Relés de Proteção – do Eletromecânico ao Digital**, 2024. Disponível em: <https://pronextengenharia.com.br/reles-de-protecao-do-eletromecanico-ao-digital/#:~:text=Os%20rel%C3%AAs%20est%C3%A1ticos%20surgiram%20com,a%20aus%C3%Aancia%20de%20partes%20m%C3%B3veis>. Acesso em: 18 jun. 2024.

SIEMENS. **Reyrolle 5**. 2025a. Disponível em: <https://www.siemens.com/br/pt/produtos/energia/protecao-sistemas-eletricos/reyrolle-5.html>. Acesso em: 30 jan. 2025.

SIEMENS. **Siprotec 5**. 2025b. Disponível em: <https://mall.industry.siemens.com/spicecad/sipom/#/spicecad/sipom/productList>. Acesso em: 16 fev. 2025.

SILVA, Matheus Jouan Raymundo da. **Projeto elétrico básico de uma subestação industrial típica na classe 15 kV**. Guaratinguetá, 2013. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/993f975f-f00a-4a2f-afd2-9086ee7c5b92/content>. Acesso em: 13 jan. 2025.

SIQUEIRA, Paulo de. **PROJETOS DE SUBESTAÇÃO DE ENERGIA PARA INDÚSTRIAS E GRANDES CONSUMIDORES**. 9 jul. 2024. Disponível em: <https://omsengenharia.com.br/blog/projetos-de-subestacao-de-energia/>. Acesso em: 08 jan. 2025.

SIQUEIRA, Paulo de. **SUBESTAÇÃO DE ENERGIA: tudo sobre projeto, instalação e manutenção de subestações para indústrias e grandes consumidores**. 17 ago. 2020. Disponível em: <https://omsengenharia.com.br/blog/subestacao-de-energia/>. Acesso em: 14 jan. 2025.

TECNOGERA. **Entenda o que é uma subestação e conheça suas classificações**, 2021. Disponível em: <https://blog.tecnogera.com.br/blog/entenda-o-que-e-uma-subestacao-e-conheca-suas-classificacoes>. Acesso em: 06 jun. 2024.