



**UNIVERSIDADE DA INTEGRAÇÃO INTERNACIONAL DA LUSOFONIA AFRO-
BRASILEIRA
INSTITUTO DE ENGENHARIAS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL – IEDS
CURSO DE ENGENHARIA DE ENERGIAS**

ANTÓNIO JOSÉ FONSECA NEVES

**PROJETO E DIMENSIONAMENTO TÉCNICO DE
SUBESTAÇÃO ABRIGADA NA CLASSE DE 13,8 kV: ESTUDO DE CASO**

**REDENÇÃO – CE
2023**

ANTÓNIO JOSÉ FONSECA NEVES

**PROJETO E DIMENSIONAMENTO TÉCNICO DE
SUBESTAÇÃO ABRIGADA NA CLASSE DE 13,8 kV: ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC),
submetido à coordenação de curso de
Engenharia de Energias da UNILAB, como
requisito parcial para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia de Energias.

Orientadora: Profa. Ma.Janaina Barbosa
Almada

REDENÇÃO - CE

2023

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Sistema de Bibliotecas da UNILAB
Catalogação de Publicação na Fonte.

Neves, António José Fonseca.

N518p

Projeto e dimensionamento técnico de uma subestação abrigada na classe de 13,8 kV: estudo de caso / António José Fonseca Neves. Redenção, 2023.

76fl: il.

Monografia - Curso de Engenharia de Energias, Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, 2023.

Orientadora: Ma. Janaina Barbosa Almada.

1. Subestação. 2. Dimensionamento. 3. Projeto. I. Almada, Janaina Barbosa. II. Título.

CE/UF/BSCA

CDD 621.319

**PROJETO E DIMENSIONAMENTO TÉCNICO DE SUBESTAÇÃO ABRIGADA NA
CASSE 13,8 kV: ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC),
submetido à coordenação de curso de
Engenharia de Energias da UNILAB, como
requisito parcial para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia de Energias.

Aprovada em: 30/01/2023

BANCA EXAMINADORA

Janaina Barbosa Almada

Profa. Ma. Janaina Barbosa Almada (Orientadora)

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-brasileira-UNILAB

Prof. Me. Humberto Ícaro Pinto Fontinele (1ª Examinadora)

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-brasileira-UNILAB

Rui Gonçalves João Cá

Eng. Eletric. Rui Gonçalves João Cá (2ª Examinadora)

Especialização em sistema elétrico de potência e de sistema de segurança contra incêndio

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo geral dimensionar e projetar uma subestação elétrica abrigada de 300 kVA, com um nível de tensão de 13,8 kV, tendo como base as normas aplicáveis. Para atingir esse objetivo recorreu-se a revisão da bibliografia disponível. Com isso, primeiramente, é contextualizada de uma forma geral as subestações, seguida de conceitos gerais, como classificações e equipamentos que compõem uma subestação. Em seguida, é realizado um estudo de caso para entender os principais processos para dimensionar uma subestação do consumidor de média tensão. Após definir corretamente os equipamentos pertencentes a este tipo de subestação, o trabalho explica minuciosamente como determinar as dimensões físicas de cada compartimento. Isso inclui o cálculo de todas as dimensões mínimas e necessárias para cada equipamento da subestação em estudo.

Palavras chaves: Equipamentos. Dimensionar. Projetar. Subestações.

ABSTRAT

The general objective of this work was to dimension and design a 300 kVA sheltered electrical substation, with a voltage level of 13.8 kV, based on the applicable standards. To achieve this objective, a review of the available literature was used. With that, firstly, the substations are contextualized in a general way, followed by general concepts, such as classifications and equipment that make up a substation. Then, a case study is carried out to understand the main processes for sizing a medium voltage consumer substation. After correctly defining the equipment belonging to this type of substation, the work explains in detail how to determine the physical dimensions of each compartment. This includes the calculation of all the minimum and necessary dimensions for each equipment in the substation under study.

Keywords: Equipment. Dimensions. Design. Substations.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Subestação abrigada com ramal de entrada subterrâneo.	19
Figura 2 - Subestação com ramal de entrada aéreo	19
Figura 3 - Subestação ao céu aberto	20
Figura 4 - Esquema do arranjo de barramento simples	21
Figura 5 - Barramento principal e transferência.....	22
Figura 6 - Barramento duplo com disjuntor duplo	22
Figura 7 - Barramento em anel.....	23
Figura 8 – Mufla terminal.....	24
Figura 9 - Corte longitudinal de um para-raios de sic.	25
Figura 10 - Disjuntor de potência a vácuo para até 40,5 kV	26
Figura 11 - Relé digital com contato NA: 10A	28
Figura 12 - Transformador de corrente de média tensão.....	29
Figura 13 - TC de alta tensão - óleo	29
Figura 14 - Transformador de potencial.....	30
Figura 15 - Transformador de potencial a seco	30
Figura 16 - Chave seccionadora simples tripolar	32
Figura 17 - Chave seccionadora motorizada SM32 – In 1250 A	32
Figura 18 - Chave fusível	33
Figura 19 – Isolador pedestal epóxi	33
Figura 20 - Cubículo de proteção	40
Figura 21 - Cubículo de transformação	41
Figura 22 – Vista frontal da unidade consumidora.	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparativo dos arranjos de barras em SEs	23
Tabela 2 - Seção dos Barramentos para SE de pequeno porte	26
Tabela 3 - Fator de demanda para iluminação e tomadas.....	36
Tabela 4 – Demanda de aparelhos de aquecimento.....	36
Tabela 5 - Fator de demanda para condicionadores de ar	37
Tabela 6 - Fator de demanda para elevadores	37
Tabela 7 - Fator de utilização - FU.....	37
Tabela 8 - Fator de simultaneidade - FS.....	38
Tabela 9 - Afastamento dos barramentos de média tensão	39
Tabela 10 - Características Nominais de para-raios	43
Tabela 11 - Coordenação de valores nominais de 6,6 kV a 13,8 kV.....	44
Tabela 12 - Tipos de carga.	50
Tabela 13 - Resumo total das demandas.	51
Tabela 14 - Folha de dados de transformador de potência	53
Tabela 15 - Capacidades de condução de corrente, em ampères.....	59
Tabela 16 - Características dos cabos de cobre Nu - CCN.....	59
Tabela 17 - Folha de dados de mufla 5632 3M.	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT:	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL:	Agência Nacional de Energia Elétrica
ENEL:	Entidade Nacional de Eletricidade
EPE:	Empresa de Pesquisa Energética
EPC:	Equipamento de Proteção Coletivo
MT	Média tensão
BT	Baixa tensão
NBR:	Norma Técnica Brasileira
NR10:	Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade
SE:	Subestação Elétrica
SEP:	Sistema Elétrico de Potência
SF ₆ :	Hexafluoreto de Enxofre
SiC:	Carbonato de Silício
SPDA:	Sistema de Proteção Contra Descarga Atmosférica
TP:	Transformador de Potencial
TC:	Transformador de Corrente
ZnO:	Óxido de Zinco

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	Justificativa.....	12
1.2	Divisão do Trabalho.....	13
1.3	Objetivos.....	13
1.3.1	Objetivo Específico.....	13
2	Metodologia.....	15
2.1	Questões de Pesquisa.....	15
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
3.1	Normas técnicas.....	16
3.2	Subestação.....	16
3.3	Classificação das Subestações.....	17
3.3.1	Classificação quanto a função.....	17
3.3.2	Classificação quanto ao nível de tensão.....	17
3.3.3	Classificação quanto ao tipo de instalação.....	18
3.3.4	Classificação quanto à forma de operação.....	20
3.3.5	Classificação quanto à topologia.....	21
3.4	Componentes de Subestação Elétrica.....	23
3.4.1	Mufla.....	23
3.4.2	Para-raios.....	24
3.4.3	Disjuntores.....	25
3.4.4	Barramentos.....	26
3.4.5	Relé.....	27
3.4.6	Transformador de corrente.....	28
3.4.7	Transformador de potencial.....	29
3.4.8	Chaves Seccionadores.....	31
3.4.9	Chave Fusível.....	32

3.4.10	Isoladores pilar.....	33
3.4.11	Buchas de passagens.....	34
3.5	Meios de isolamento da subestação	34
3.6	Critérios para dimensionamento de uma subestação abrigada	35
3.6.1	Critérios para o cálculo da demanda.....	35
3.6.2	Critério para dimensionamento físico.....	38
3.6.3	Critério para proteção da subestação em média tensão	42
3.6.4	Critério para o dimensionamento de condutores de MT	44
3.6.5	Critério para proteção da subestação em baixa tensão	45
3.6.6	Critério para o dimensionamento de aterramento.....	46
4	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS.....	48
4.1	Estudo de Projeto de Subestação Abrigada	48
4.1.1	Descrição da edificação	48
4.2	Característica da Subestação.....	49
4.2.1	Ponto de entrega	49
4.3	Demanda da Instalação	49
4.3.1	Resumo total das demandas.....	50
4.3.2	Cálculo da demanda das potências de iluminação e tomadas.....	51
4.3.3	Cálculo da demanda de aparelhos de aquecimento	51
4.3.4	Cálculo da demanda de todos os aparelhos de ar-condicionado.....	51
4.3.5	Cálculo da demanda dos motores das bombas de serviço	52
4.3.6	Cálculo da demanda dos elevadores	52
4.3.7	Cálculo da demanda dos motores elétricos.....	52
4.3.8	Cálculo da demanda do fator G (outras cargas).....	52
4.3.9	Cálculo da demanda máxima presumível em kVA	52
4.4	Dimensionamento físico da subestação	53
4.4.1	Transformador	53

4.4.2	Altura da subestação	54
4.4.3	Cubículo de medição	54
4.4.4	Cubículo de proteção	54
4.4.5	Cubículo de transformação	55
4.4.6	Porta de entrada da subestação	55
4.4.7	Área de circulação	56
4.4.8	Abertura de ventilação	56
4.4.9	Ramal de entrega de energia.....	56
4.4.10	Bucha de passagem.....	57
4.4.11	Proteção da subestação em MT	57
4.4.12	Dimensionamento de condutores de MT	58
4.4.13	Dimensionamento de barramentos primários	60
4.4.14	Dimensionamento de mufla	60
4.4.15	Proteção da subestação em baixa tensão	60
4.4.16	Dimensionamento de condutores de baixa tensão	61
4.4.17	Aterramento	62
4.5	Diagrama unifilar.....	62
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	64
5.1	Conclusões	64
5.2	Contribuições do trabalho.....	64
5.3	Sugestões de trabalhos futuros.....	64
ANEXO A – PLANTA BAIXA - SITUAÇÃO		68
ANEXO B – PLANTA BAIXA - FACHADA		69
ANEXO C – PLANTA BAIXA – RAMAL DE ENTRADA		70
ANEXO D – PLANTA BAIXA - SUBESTAÇÃO		71
ANEXO E – PLANTA BAIXA – CUBÍCULO MT.....		72
ANEXO F – PLANTA BAIXA – ATERRAMENTO EQUIPOTENCIALIZADO		73

ANEXO G – PLANTA BAIXA – MALHA DE ATERRAMENTO.....	74
ANEXO H – DIAGRAMA UNIFILAR.....	75

1 INTRODUÇÃO

A rede elétrica não é apenas uma série de fios interconectados aos quais todos os produtores e usuários de energia se conectam coletivamente. Na realidade, a eletricidade percorre uma série de etapas, normalmente, divididas em três partes. São elas a geração, a transmissão e a distribuição.

Em geral, há a necessidade de transmitir e distribuir a energia elétrica gerada, devido à grande demanda a ser atendida e às grandes distâncias entre a geração e o usuário final. Para garantir que a carga seja atendida com qualidade e em níveis de tensão compatíveis com sua potência, são implantadas as subestações de energia elétrica dentro do sistema de potência.

As usinas elétricas, sejam elas hidráulicas, térmicas, eólicas ou fotovoltaicas, geram energia em baixa ou média tensão. Esses níveis de tensão inviabilizam o transporte por quilômetros de distância, portanto, as subestações, nessa etapa, são responsáveis por elevar a tensão através de transformadores de potência. Devido a essa elevação da tensão, há a redução das perdas, conseqüentemente, o transporte da energia elétrica se torna mais eficiente.

Próximas aos centros de carga não é viável linhas de transmissão em alta tensão devido a inconvenientes como tamanho das estruturas e maior faixa de servidão. Assim, antes da distribuição, a tensão da rede precisa ser reduzida, novamente usando transformadores localizados nas subestações, fazendo com que a tensão elétrica fique em nível ideal para ser distribuídas aos consumidores.

Neste contexto, as subestações devem ter a capacidade de compensar os reativos do sistema, alterar a tensão para níveis de tensão adequados e proteger a integridade física do sistema e das pessoas. Nelas se concentram dispositivos de proteção eficazes para detectar diferentes tipos de falhas que podem surgir no sistema e isolar o trecho onde ocorrem as falhas. As subestações são nós do sistema elétrico de potência, portanto, seu dimensionamento, operação e manutenção devem ser realizadas adequadamente para garantir a continuidade e qualidade do fornecimento de energia elétrica.

1.1 Justificativa

As subestações são pontos centrais do sistema elétrico de potência, locais onde se concentram várias funções como medições, manobras, regulação de tensão, supervisão e proteção do sistema. Dessa forma, entender todos os módulos que formam as subestações e como são dimensionados é fundamental para quem trabalha neste setor. Portanto, este trabalho

tem por justificativa a necessidade de se conhecer detalhes dos projetos de subestações e características particulares de projeto de acordo com as condições apresentadas.

1.2 Divisão do Trabalho

O trabalho está dividido em cinco capítulos, estruturados da forma a ser definida a seguir.

O segundo capítulo é detalhado o processo metodológico usado para elaboração trabalho.

O capítulo 3 traz algumas normas aplicáveis para o dimensionamento e projeto de uma subestação do consumidor na classe de 13,8 kV. Traz também aspectos conceituais sobre os principais tipos de subestação de transmissão e de distribuição e dos seus equipamentos constituintes, definições, tipos e usos. Posteriormente, são apresentados conceitos sobre a subestação abrigada.

No capítulo 4 são introduzidos os fatores básicos para o dimensionamento de um projeto de subestação. Os conceitos apresentados nos capítulos anteriores são aplicados, o dimensionamento será justificado por cálculos para uma correta especificação dos equipamentos, materiais (cabos, conectores ,isoladores etc.). Que servira como base para a elaboração do projeto no software.

Por fim, no capítulo 5 são compiladas as contribuições deste trabalho, bem como aponta sugestões para estudos futuros.

1.3 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo geral dimensionar e projetar uma subestação elétrica abrigada de 300 kVA com um nível de tensão de 13,8 kV tendo como base as normas brasileiras aplicáveis.

1.3.1 Objetivo Específico

Com objetivo de manipular as grandezas elétricas (potência, tensão e corrente elétrica), a fim de satisfazer e atender os níveis satisfatório aos equipamentos e a demanda do consumidor, este trabalho apresenta os seguintes objetivos específicos:

- Realizar o levantamento das cargas;
- Realizar Cálculo da demanda;

- Estabelecer critérios para escolha do transformador e quanto ao tipo de ambiente de instalação;
- Dimensionar as proteções em média tensão e baixa tensão.

2 METODOLOGIA

Este capítulo tem como objetivo apresentar o processo metodológico utilizado no desenvolvimento deste trabalho.

2.1 Questões de Pesquisa

Este capítulo tem como objetivo apresentar o processo metodológico utilizado no desenvolvimento deste trabalho.

O trabalho iniciou com uma pesquisa bibliográfica da fundamentação teórica do tema. Na primeira etapa, foram realizadas consultas a normas, livros, artigos, dissertações etc.

No segundo momento, são investigadas as exigências de todas as cargas previstas para o seu dimensionamento.

Na terceira fase, foram realizados cálculos de demanda com base nas recomendações das normas das concessionárias locais e posteriores preparativos para o projeto da subestação. Quanto aos procedimentos utilizados no estudo, nas inúmeras classificações de métodos de pesquisa, este trabalho pode ser descrito como um estudo de caso. Ainda, para fins pedagógicos, os métodos utilizados em cada fase deste trabalho são apresentados nos tópicos a seguir.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta seção aborda os principais conceitos relacionados às subestações de energia elétrica, assim como as normas técnicas para seu dimensionamento, suas classificações e os principais equipamentos.

3.1 Normas técnicas

O Projeto foi elaborado com base nas normas vigentes da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Diretrizes adicionais foram derivadas da ENEL CE e de outros órgãos reguladores. As normas a seguir citadas atendem a uma subestação abrigada na classe de 13,8 kV.

- CNC-OMBR-MAT-18-0125-EDBR- Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Primária de Distribuição
- CNC-OMBR-MAT-20-0942-EDBR - Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Primária de Distribuição até 34,5 kV;
- CNC-OMBR-MAT-18-0135-EDBR- Rede de distribuição aérea de Média Tensão;
- CNC-OMBR-MAT-18-0095-EDCE- Para-Raios de Óxido de Zinco;
- NBR 14039 (Instalações Elétricas de Média Tensão de 1,0 kV a 36,2 kV) ABNT;
- NBR 5410: 2004 (Instalações Elétricas de Baixa Tensão) ABNT;
- NBR 5419 (ABNT) - Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas;
- NBR 15749 (ABNT) - Medição de Resistência de Aterramento e de Potenciais da Superfície Do Solo Em Sistemas De Aterramento;
- NBR 5356 (ABNT) Transformador de Potência;
- NBR 7117 (ABNT) - Medição da resistência e determinação da estratificação do solo.

3.2 Subestação

Filho (2017, p. 1387) propõe uma definição para o conceito de subestação de energia elétrica, “Uma subestação é um conjunto de condutores, dispositivos e equipamentos projetados para alterar as características da energia elétrica (tensão e corrente), permitindo que ela seja distribuída aos pontos de consumo”.

Para que a energia seja gerada na usina e entregue às cidades, essa rota passa por diversas subestações que aumentam a tensão elétrica para reduzir as perdas de transmissão,

além de reduzir a tensão perto das cidades, permitindo uma distribuição mais segura de energia. Durante esta rota, vários tipos diferentes de subestações processam essa energia.

3.3 Classificação das Subestações

Existem várias formas de classificar uma subestação, de acordo com: nível de tensão, relação entre níveis de entrada e tensão de saída, função no sistema elétrico, tipo de instalação e tipo construtivo de equipamentos principais. As seguintes classificações foram baseadas nas subestações elétricas Muzy (2012).

3.3.1 Classificação quanto a função

Subestação de manobra: É aquela que interliga circuitos de suprimento sob o mesmo nível de tensão, permitindo o chaveamento entre estes. É também adotada para possibilitar o seccionamento de circuitos, permitindo sua energização em trechos sucessivos de menor comprimento. Sua principal tarefa é alterar a configuração do sistema elétrico, mudando a conexão entre linhas de energia.

Subestação elevadora: tem a função de aumentar a tensão de saída em relação à tensão de entrada, a fim a fim de condicionar a energia para transmissão em linhas de longas distâncias.

Subestação abaixadora: tem a função de reduzir o nível de tensão, para tornar a rede elétrica mais segura para acessar os centros urbanos.

Subestação conversora: faz a conversão da natureza da corrente, de corrente alternada para corrente contínua, ou vice-versa.

3.3.2 Classificação quanto ao nível de tensão

Esses são os padrões de nível de tensão no Brasil. Outros países podem adotar outros níveis de tensão como padrão.

Baixa Tensão: Subestações com níveis de tensão até 1 kV.

Média Tensão: Subestações com níveis de tensão entre 1 kV e 34,5 kV, ou seja, 6,6 kV, 13,8 kV, 23 kV e 34,5 kV.

Alta Tensão: Subestações com níveis de tensão entre 34,5 kV e 230 kV, ou seja, 69 kV, 138 kV e 230 kV.

Extra Alta Tensão: Subestações com níveis de tensão acima de 230 kV, ou seja, 345 kV, 440 kV, 500 kV e 750 kV Muzy (2012).

3.3.3 Classificação quanto ao tipo de instalação

As subestações ao tempo são construídas em grandes áreas externas e os equipamentos e maquinários utilizados devem possuir a capacidade de operar em condições climáticas adversas (chuva, vento, gases etc.). Os materiais que compõem os dispositivos e equipamentos devem receber tratamento para suportar as intempéries. SEs ao tempo não são instalações que exigem rotinas de manutenção constantes e que possuem equipamentos de baixa eficiência, pois os materiais e equipamentos já possuem tratamento para suportar esses ambientes e operarem de forma segura por muitos meses ou anos, sem a necessidade de manutenção (MUZY, 2012).

Subestações internas ou abrigadas são construídas em locais protegidos e os equipamentos estão localizados em edificações onde os equipamentos não ficam em condições climáticas adversas. Em casos especiais, este tipo de subestação também pode ser utilizado em 230 kV, mas os equipamentos são instalados e isolados dentro de cilindros metálicos preenchidos com gás SF6 pressurizado (MUZY, 2012).

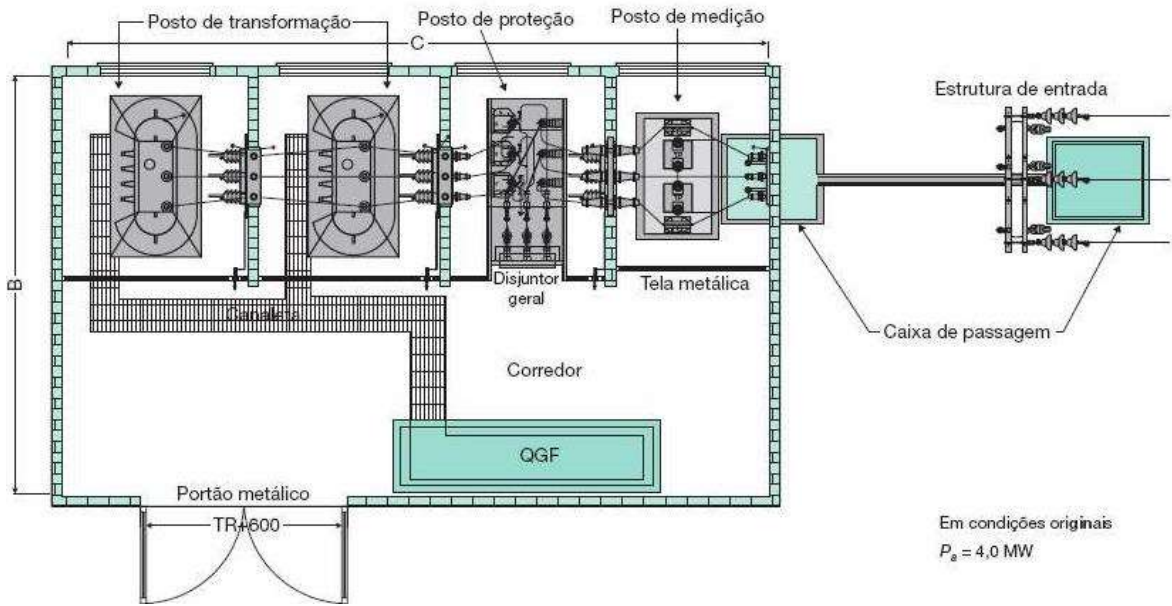
Ao realizar um projeto deste tipo de subestação, é necessário conhecê-la bem para que o abrigo, em alvenaria ou caixa metálica, seja dimensionado adequadamente (BELLEZA, 2021).

Subestação de alvenaria abrigada é o tipo mais comum de subestação industrial. É barato, fácil de montar e manter, mas requer uma grande área de construção. Sua aplicação é mais notável no espaço disponível próximo ao centro de carga (BELLEZA, 2021).

As subestações em caixas metálicas, também conhecidas como subestações de gabinete metálico, são adequadas para uso em edifícios industriais ou outros edifícios, onde o espaço disponível é reduzido. Pode ser construído para uso interno ou externo. Internamente, as subestações de alvenaria possuem compartimentos como o cubículo de medição, cubículo de proteção e cubículo de transformação (BELLEZA, 2021).

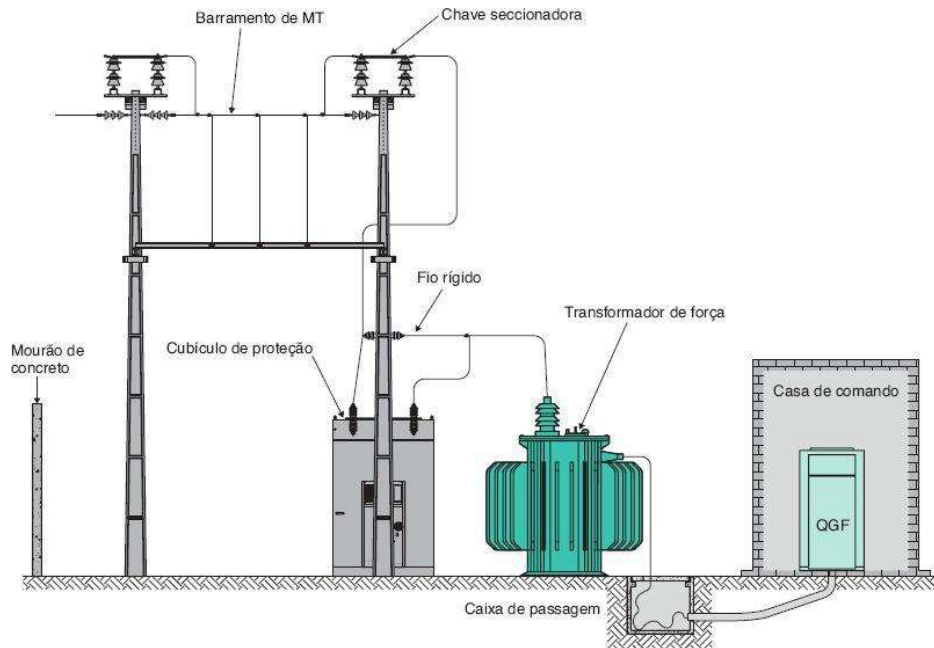
Para exemplificar a subestação de alvenaria, podemos observar a figura 1, com ramal de entrada subterrânea e figura 2 com ramal de entrada aérea.

Figura 1 - Subestação abrigada com ramal de entrada subterrâneo.



Fonte: Filho (2017)

Figura 2 - Subestação com ramal de entrada aéreo



Fonte: Filho (2017)

A figura 3 mostra uma foto de uma subestação ao tempo, onde se podem observar os equipamentos sem nenhum tipo de cobertura Muzy (2012).

Figura 3- Subestação ao céu aberto



Fonte: Muzy (2012)

As subestações do tipo abrigada só se aplicam a SE de pequeno e médio porte. SEs de grande porte sempre são ao tempo.

3.3.4 Classificação quanto à forma de operação

Subestação de comando manual: Dependentes de um profissional altamente capacitado e com enorme autoridade, essas subestações utilizam o controle do sistema e a tomada de decisão por um especialista.

Subestação Semiautomática: Este tipo de subestação possui um sistema de segurança computadorizado ou eletromecânico para evitar a operações inadequadas do operador.

Subestações Automatizadas: Nas subestações automatizadas, o controle do sistema é feito por meio de computadores e softwares como sistemas de monitoramento SCADA (Sistema de Supervisão e Aquisição de Dados).

Estas são algumas das principais classificações de subestação, podem ter outras subdivisões baseadas em equipamentos, localização, barramentos entre outras características. Seções diferentes das mencionadas não serão consideradas neste estudo, mas podem ser encontradas na literatura mencionada após as considerações finais deste estudo.

3.3.5 Classificação quanto à topologia

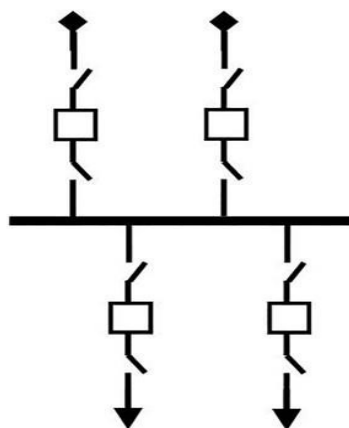
Uma das principais classificações de SEs é quanto a topologia (barra simples, barra principal e de transferência, barra dupla, barra em anel).

As subestações isoladas a ar são construídas usando arranjos de barramentos típicos para vários usos, portanto, certos aspectos da manutenção do disjuntor devem ser considerados em cada caso. Além disso, a configuração do barramento está relacionada à sua flexibilidade operacional. Ou seja, dentre vários aspectos relacionados à confiabilidade da subestação, o arranjo de barramento é um deles (SILVA, 2019).

O arranjo do barramento da subestação será estudado com mais detalhes a seguir.

Barramento simples: Este tipo de barramento é mostrado na Figura 4. Este é o arranjo mais simples, com conexões feitas através de disjuntores conectados diretamente ao barramento (SILVA, 2019).

Figura 4 - Esquema do arranjo de barramento simples

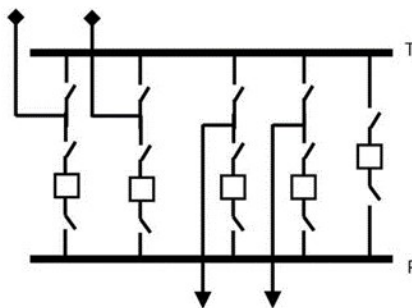


Fonte: Silva (2019)

Esse arranjo tem confiabilidade muito baixa, pois se ocorrer um evento em uma das linhas conectadas ao barramento, todos os consumidores atendidos por essa linha perderão energia (SILVA, 2019).

Barramento principal e de transferência: são usados para aumentar a flexibilidade das atividades de manutenção do disjuntor. O destaque desse arranjo é que todos os disjuntores são extraíveis ou possuem chaves seccionadoras em ambas as extremidades (SILVA, 2019). Este arranjo é mostrado na Figura 5.

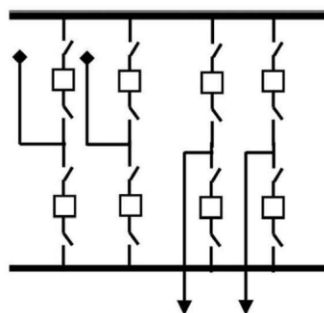
Figura 5 - Barramento principal e transferência



Fonte: Silva (2019)

Barramentos duplos com disjuntores duplos: Este arranjo é mostrado na Figura 6. Este é um arranjo de alta confiabilidade porque o circuito é protegido por dois disjuntores independentes e a operação de qualquer disjuntor não pode afetar mais de um circuito (SILVA, 2019).

Figura 6 - Barramento duplo com disjuntor duplo

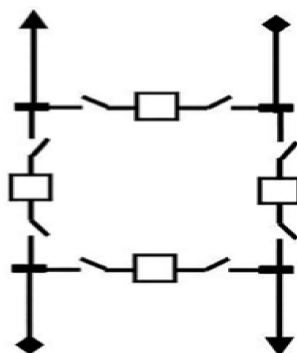


Fonte: Silva (2019)

Barramento em anel: O esquema de conexão do barramento em anel é mostrado na Figura 7. Como pode ser visto, este utiliza disjuntores e chaves formando um circuito fechado para seccionar a barra, mas mostra a economia de um disjuntor por circuito em comparação com o barramento simples seccionado (SILVA, 2019).

A operação desse esquema é um pouco mais complicada, pois cada dispositivo (linha, alimentador, transformador) é alimentado por dois disjuntores separados, exigindo religamento automático e um circuito de proteção mais complexo (SILVA, 2019).

Figura 7 - Barramento em anel



Fonte: Silva (2019)

A Tabela 1 resume as principais configurações dos barramentos e suas características de confiabilidade e custo (SILVA, 2019).

Tabela 1- Comparativo dos arranjos de barras em SEs

Arranjo	Confiabilidade	Custo
Barra simples	Baixo	Baixo
Barra principal e transferência	Baixo	Intermediário
Barra dupla – 2 disjuntores	Alta	Alto
Barra em anel	Alta	Intermediário

Fonte: Adaptado, Silva (2019)

3.4 Componentes de Subestação Elétrica

As subestações consistem em vários dispositivos, como mufla, para raios, disjuntores, barramentos, relé, transformadores, chaves seccionadoras, chave fusível entre outros. Nesta seção os principais componentes e equipamentos de SEs são detalhados.

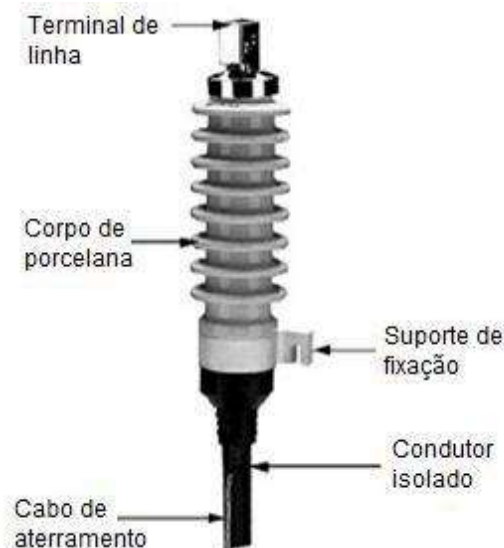
3.4.1 Mufla

O terminal mufla, também conhecido como terminal de polímero, é um dispositivo utilizado para realizar a transição entre um condutor isolado e um condutor nu (barramento) ou terminal de conexão de equipamentos (transformador), aliviar campo elétrico, evitando fugas de corrente, minimizar o efeito corona, distanciando o condutor de equipotencialização do cabo do terminal de conexão, vedação contra umidade e poeira no início de condutores isolados e proteção mecânica.. Dependendo da sua estrutura construtiva, eles podem ser fabricados tanto para instalações externas como nas instalações protegidas.

Quando as muflas são usadas ao ar livre, geralmente são instaladas na extremidade externa do alimentador da subestação do consumidor. E quando usadas em ambientes fechados, geralmente são instaladas no cubículo ou estrutura de alvenaria de entrada da edificação da

subestação do consumidor e conectado ao barramento (BELLEZA, 2021). A figura 8 ilustra os detalhes externos da mufla terminal primária.

Figura 8 – Mufla terminal



Fonte: Machado (2017)

Existem vários tipos de muflas elétricas de média tensão dependendo dos materiais que os compõem. Como por exemplo: termocontrátil, contrátil a frio, push-on e modulares.

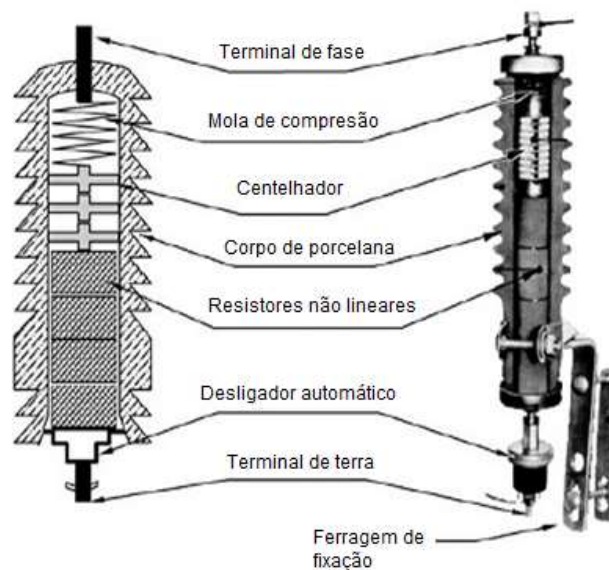
3.4.2 Para-raios

Para-raios são dispositivo monofásico cuja função é proteger os equipamentos elétricos em caso de descargas atmosféricas. Os para-raios entram em operação quando um determinado nível de tensão é ultrapassado em um sistema elétrico reduzindo drasticamente a resistência entre seus terminais, de forma a atuar como um condutor, desviando parte da corrente para a terra, minimizando assim os danos à instalação (SOUSA, 2007). Existem para-raios de alta, média e baixa tensão. O princípio construtivo desses para-raios é totalmente diferente de acordo com o nível de tensão.

Em geral, os para-raios protegidos da entrada aérea da subestação são instalados diretamente fora do prédio, geralmente na entrada da linha próxima à bucha de média tensão, buchas dos disjuntores e dos TC e TPs. No caso de entrada subterrânea, os para-raios são geralmente instalados próximos à porta de entrada da subestação.

O dimensionamento do conjunto de para-raios depende da tensão nominal, corrente de fuga, tipo de construção, frequência nominal, tensão máxima de ruptura durante impulso atmosférico, tensão residual máxima de descarga e método de instalação (FILHO, 2005). Na Figura 9, tem-se os detalhes construtivos de um para-raios de distribuição.

Figura 9 - Corte longitudinal de um para-raios de sic.



Fonte: Filho (2005)

3.4.3 Disjuntores

São dispositivos destinados a chavear e proteger circuitos, capazes de interromper e extinguir o arco-elétrico durante o chaveamento, em condições de sobrecarga ou curto-circuito, no menor tempo possível. Os disjuntores de tensão superiores a 1000 V, em geral, são utilizados para proteger circuitos em subestações e recebem comandos dos relés digitais, hoje os mais usados.

(FILHO, 2005).

Os condutores de energia elétrica possuem em suas normas requisitos para as características do disjuntor de entrada da subestação, como capacidade de interrupção, nível de curto-circuito e tempo de interrupção. Os disjuntores de saída de linha, quando existem, também deve atender a essas especificações. Para especificações e dimensionamento do disjuntor, devem ser observados os valores de tensão e corrente nominal, frequência nominal, tipo de construção e montagem, tempo de interrupção, tipo de comando de abertura e fechamento e capacidade nominal de interrupção (FILHO, 2005).

Essas são as especificações básicas, mas existem outras (Componente contínua, Fator de primeiro pólo, Tensão suportável nominal a frequência industrial (eficaz), Tensão suportável nominal a impulso atmosférico (pico), Corrente suportável nominal de curta duração e tempo de duração, Tensão suportável impulso de manobra (pico), Valor de crista da corrente suportável nominal, Capacidade de estabelecimento nominal em curto circuito, Capacidade de

interrupção nominal em discordância de fases (eficaz), Capacidade de interrupção nominal de linhas em vazio). Na Figura 10, tem-se um disjuntor de potência a vácuo para até 40,5 kV.

Figura 10 - Disjuntor de potência a vácuo para até 40,5 kV



Fonte: Siemens (2023)

3.4.4 Barramentos

Os barramentos conectam vários alimentadores dentro de um gabinete de controle à prova de intempéries ou protegido. Eles são tipicamente de forma circular ou retangular e estão presentes em gabinetes de controle, onde coletam corrente elétrica da fonte e a distribuem entre os diferentes alimentadores.

No contexto das instalações elétricas industriais, incluindo subestações, um barramento é conceituado como um conjunto de condutores elétricos, geralmente nus, pintados ou não, eventualmente encapsulados, projetados para permitir a transmissão de altas correntes, ou fornecer distribuição de corrente com múltiplas fontes de alimentação e 15 saídas múltiplas Fonseca (2009). A tabela 2 mostra a seção dos barramentos de acordo com a potência instalada para SE de pequeno porte.

Tabela 2 - Seção dos Barramentos para SE de pequeno porte

Potência instalada	Tubo (mm ²)	Barra de cobre (mm ²)	Vergalhão (mm)
Até 700 KVA	20	25	8,5
De 701 a 2500 KVA	50	40	10

Fonte: Enel (2017a)

3.4.5 Relé

Existem diversos tipos de relé: relé eletrônicos e eletromecânicos de proteção para motores, relés eletromecânicos para chaveamento, relés eletrônicos para disjuntores de média e alta tensão, entre outros.

São dispositivos cuja função é coordenar e atuar sobre outros dispositivos de proteção, como disjuntores e seccionadores. Esses dispositivos possuem características que diferenciam entre condições operacionais normais e anormais. Quando uma anormalidade é detectada no circuito, seja sobrecarga, curto-circuito, subtensão ou outros fatores que possam danificar os equipamentos da subestação, o relé pode desconectar o circuito com segurança e rapidez (SILVA, 2013).

De acordo com a forma construtiva dos relés, eles podem ser classificados em: eletromagnético, elétrico, indução, térmico, eletrônico e digital. A escolha de um tipo de relé depende muito do sistema de onde este vai ser instalado. Os relés digitais são amplamente utilizados em projetos de sistemas de potência porque oferecem confiabilidade e coordenação superior em sistemas de proteção em comparação com relés eletromecânicos. Além disso, tem ampla faixa de configuração, alta precisão, rápida velocidade de reação e a possibilidade de comunicação com o sistema supervisor (SILVA, 2013).

Qualquer sistema elétrico deve garantir a proteção mínima, conforme NBR 14039 e demais normas aplicáveis, essa proteção é de sobrecorrente instantânea e temporizada, funções 50 e 51 do relé, fase e neutro. Outro recurso dos relés digitais utilizado em projetos industriais é a função 86, que aciona o bloqueio da religação do equipamento se alguma proteção tiver atuado. Para que o equipamento entre em operação novamente equipe de manutenção deve ir ao local e retirar o bloqueio (SILVA, 2013).

Existem diversas outras funções de relés digitais. Como um relé digital Sepam série 80 que tem como as principais funções como: Proteção da subestação (entrada e saída do barramento); Proteção dos transformadores; Proteção de motores e geradores; Proteção efetiva as pessoas e à propriedade; Medições precisas e diagnósticos detalhado.

Outras proteções devem ser usadas, entre elas: Diferencial de corrente, Direção, Distância, Sincronização, Sobretensão e Subtensão. Na Figura 11 é ilustrada um relé digital com contato NA.

Figura 11 - Relé digital com contato NA: 10A



Fonte: Grameyer (2023)

3.4.6 Transformador de corrente

Um transformador de corrente é um dispositivo que permite que os instrumentos de medição e proteção funcionem corretamente sem terem de ser dimensionados para a corrente nominal do circuito aos quais estão conectados. Em sua forma mais simples, possuem uma bobina primária (geralmente com poucas espiras) e uma secundária, possuindo correntes nominais de secundário que podem variar de 5 A (padrão mais usado no Brasil) ou 1 A. Desta forma, o tamanho dos instrumentos de medição e proteção é reduzido e as suas bobinas de corrente são feitas de fios com uma pequena quantidade de cobre (SILVA, 2013).

Os TCs operam com uma tensão variável, dependendo da corrente primária e da carga conectada ao seu secundário. A relação de transformação de corrente primária e secundária é inversamente proporcional à relação das voltas do enrolamento primário e secundário (FILHO, 2013). Os principais tipos de TC: média tensão: de enrolamento, toroidal e barra, e de alta tensão: a óleo, a seco. Na Figura 12 é ilustrado um TC de barra comumente usados em subestações de média tensão. Na Figura 13 é ilustrado um TC de alta tensão a óleo.

Figura 12 - Transformador de corrente de média tensão



Fonte: Machado (2017)

Figura 13 - TC de alta tensão - óleo



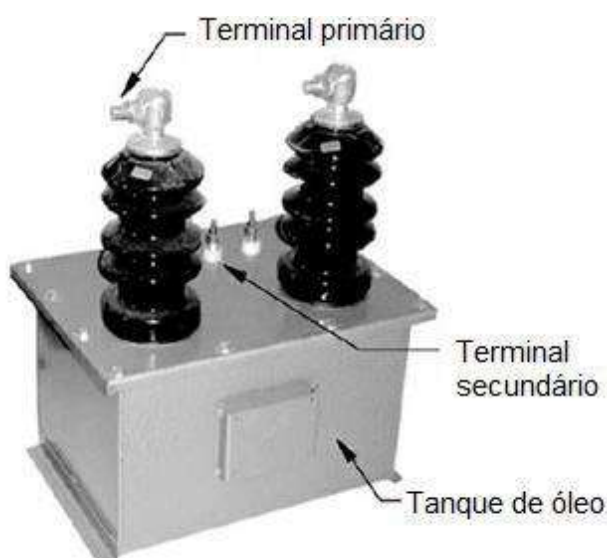
Fonte: Soltran (2023)

3.4.7 Transformador de potencial

Da mesma forma que os TCs, os transformadores de potencial (TPs) permitem que os instrumentos de medição e proteção sejam independentes da rede aos quais são conectados, pois reduz a tensão da rede a um padrão de utilização nesses equipamentos. Em sua forma mais simples, um transformador de potencial possui um enrolamento primário de várias voltas e um enrolamento secundário através do qual a tensão é padronizada como 115 V ou $115/\sqrt{3}$ V (FILHO, 2005).

Desta forma, os instrumentos de proteção e medição são produzidos com bobinas e outros componentes de baixo isolamento. Os transformadores de potencial são dispositivos utilizados para alimentar dispositivos de alta impedância, como voltímetros, relés de tensão, bobinas de tensão de medidores de energia etc. (FILHO, 2005). Na figura 14 é ilustrado um transformador de potencial.

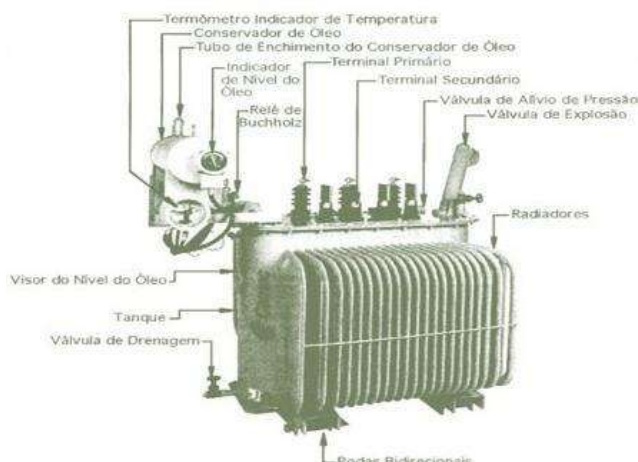
Figura 14 - Transformador de potencial



Fonte: Machado (2017)

Nas subestações das unidades consumidoras do subgrupo A4, a função do transformador de potencial é reduzir a tensão primária (tipicamente 13,8 kV) para uma tensão secundária que alimente os equipamentos instalados. Em termos de materiais isolantes, os transformadores são classificados como transformadores do tipo seco ou líquidos isolantes. (SILVA, 2013). Na Figura 15 é ilustrado um transformador de potencial a seco.

Figura 15 - Transformador de potencial a seco



Fonte: Filho (2017)

3.4.8 Chaves Seccionadores

Os seccionadores são máquinas que podem interromper ou reconectar dois circuitos elétricos por meio de seus terminais. Garantem a continuidade elétrica em todas as condições, inclusive sobrecarga ou curto-circuito (SILVA, 2013).

Os seccionadores são amplamente utilizados em subestações e geralmente são instalados a montante dos disjuntores para permitir a operação do circuito com ou sem carga, manual ou motorizado, e para isolar outros equipamentos instalados na subestação para eventuais manutenções, tais como transformadores, disjuntores etc.

De acordo com a NBR IEC 62271-102, para o dimensionamento e especificação de uma chave seccionadora, é preciso conhecer os valores de tensão e corrente nominal, frequência nominal, tipo de operação a vazio ou com carga, valores suportáveis de correntes de curta duração, tanto para efeito térmico como dinâmico, nível básico de impulso e o tipo de acionamento entre outros (SILVA, 2013).

Eles podem ser compostos por um pólo (unipolar) ou três pólos (tripolares), e o mecanismo de abertura da chave seccionadora tripolar deve ser três pólos ao mesmo tempo.

No que diz respeito à aplicação no circuito, as chaves seccionadoras podem ser divididas em:

- Chave seccionadora simples: projetada para abrir e fechar circuitos sem carga, ou seja, somente em vazio, amplamente utilizada em subestações de alvenaria classe 15 kV, conforme figura 16;
- Chave seccionadora sob carga: projetada para abrir e fechar seus contatos sob carga, pois possui em sua construção um interruptor capaz de interromper um circuito cuja corrente normalmente não ultrapasse sua corrente nominal;
- Chaves de Aterramento: Projetadas para aterrar equipamentos ou circuitos para fornecer maior segurança durante a manutenção de componentes (SILVA, 2013).

Na figura 17 é ilustrada uma chave seccionadora motorizada SM32 - In 1250 A.

Figura 16 - Chave seccionadora simples tripolar



Fonte: Belleza (2021)

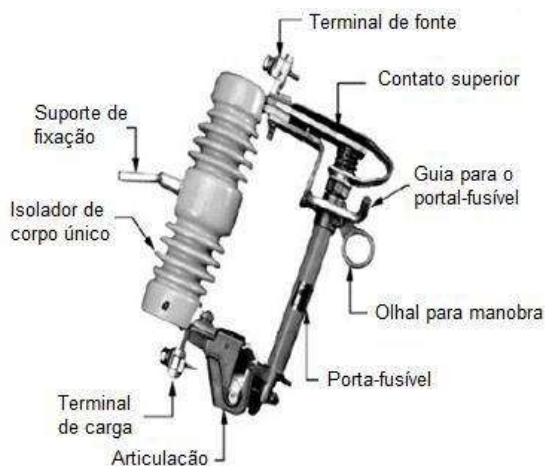
Figura 17 - Chave seccionadora motorizada SM32 – In 1250 A



Fonte: Holec (2023)

3.4.9 Chave Fusível

A chave fusível é um dispositivo comumente usado para proteger redes de distribuição primária de sobrecorrente. Este dispositivo normalmente protege desde o ponto de fornecimento de energia até o disjuntor da estação principal. Na Figura 18 é ilustrada uma chave fusível indicadora unipolar. Os principais tipos de fusíveis utilizados nessas chaves são: NH, Diazed, Noezed, D, ultra rápido, HH e Silized.

Figura 18 - Chave fusível

Fonte: Machado (2017)

3.4.10 Isoladores pilar

Os isoladores pilar são feitos de materiais isolantes com propriedades elétricas e mecânicas para suportar os esforços dos condutores em condições normais de operação. Do ponto de vista elétrico, não deve fornecer um caminho para o fluxo de corrente, mesmo se exposto a altos valores de tensão. Para determinar sua especificação, algumas informações básicas são necessárias, tais como: método de instalação, normal ou invertido, tipo de construção, nível de choque básico, material de isolamento e tensão nominal (SILVA, 2013). Na Figura 19, um Isolador de Pedestal pode ser visto.

Figura 19 – Isolador pedestal epóxi

Fonte: acabane (2023)

3.4.11 Buchas de passagens

As buchas de passagens são elementos isolantes adequados para instalação em compartimentos metálicos ou de alvenaria e equipamentos diversos, cuja finalidade é permitir a passagem de circuitos elétricos de um determinado ambiente para outro. Além dos componentes convencionais, a bucha também pode ser equipada com outros recursos auxiliares, como transformadores de corrente, cornetas metálicas para interrupção de tensão de impulso etc. Filho (2003).

3.5 Meios de isolamento da subestação

De acordo com Filho (2021), as subestações podem ser isoladas por diferentes meios isolantes como:

Isolação a Ar: São as subestações mais utilizadas devido ao seu menor custo em comparação com outros tipos de subestações que são isoladas por outros meios de isolamento. Essas subestações normalmente ocupam mais espaço do que outros tipos de subestações (FILHO, 2021).

Conjunto de Componentes Compactos SF6: Também conhecido como CAIS (Compact Air Insulated Switchgear), é uma subestação bastante compacta. A tecnologia é domínio de apenas alguns fabricantes. É utilizado apenas em locais com certas restrições de área, como centros urbanos comerciais densos, altos preços de terrenos ou altas exigências de confiabilidade e continuidade de serviço dos bens. Este tipo de subestação ocupa uma área de cerca de 50% da área das subestações convencionais e é instalada ao ar livre (FILHO, 2021).

Isolação total a SF6: Também conhecido como GIS – Gas Insulated Switchgear, é o tipo de subestação mais compacto atualmente fabricado. A tecnologia é domínio de poucos fabricantes. Eles são usados apenas em locais com espaço de construção muito limitado, como centros comerciais com alta concentração de mercadorias, onde os preços dos terrenos são extremamente altos ou onde as mercadorias exigem confiabilidade e continuidade de serviço muito altas. Este tipo de subestação ocupa uma área de cerca de 15% da área das subestações convencionais e é instalada ao ar livre. Neste tipo de subestação, todos os componentes de energia, incluindo barramentos, são instalados em cilindros metálicos e compartimentos preenchidos com gás SF6, formando um bloco metálico muito compacto sob pressão. Essas subestações geralmente são instaladas em áreas abrigadas (FILHO, 2021).

Isolação híbrida: É um tipo de subestação que combina subestações isoladas a ar e tecnologias de subestações isoladas em SF6. A tecnologia relacionada às subestações SF6 é de

domínio de poucos fabricantes. A tecnologia de isolamento de ar é de conhecimento comum. Eles são usados apenas onde o espaço é limitado ou onde a carga requer um grau razoável de confiabilidade e continuidade de serviço. Este tipo de subestação cobre uma área de cerca de 65% da área das subestações convencionais e é instalada ao ar livre (FILHO, 2021).

3.6 Critérios para dimensionamento de uma subestação abrigada

Para dimensionar e especificar adequadamente os elementos de uma subestação, é necessário realizar alguns cálculos para determinar a quantidade de energia elétrica que vai fluir através deles. As subseções a seguir apresentam as principais equações utilizadas para determinar os parâmetros elétricos e físicos do projeto da subestação abrigada (MACHADO, 2007).

3.6.1 Critérios para o cálculo da demanda

Nesta seção é utilizada o método para dimensionamento de SE industrial. Primeiramente é necessário fazer um levantamento geral de carga e a partir deste seguir com o cálculo da demanda.

Os critérios para Cálculo de demanda adotado neste trabalho são conforme a metodologia da distribuidora ENEL-CE da norma CNC-OMBR-MAT-18-0125-EDCE, detalhado a seguir.

Para o cálculo da demanda máxima presumível da instalação foi usado a equação:

$$D = \left(\frac{0,77}{FP} a + 0,7b + 0,95c + 0,59d + 1,2e + F + G \right) \quad (01)$$

na qual:

D - Demanda total da instalação, em kVA;

a - Potência dos equipamentos de iluminação e tomadas em geral (ventiladores, computadores, TV etc.). Calculado de acordo com a Tabela 3.

Tabela 3 - Fator de demanda para iluminação e tomadas

Descrição	Fator de demanda (%)
Auditórios, salões para exposições e semelhantes	100
Bancos, lojas e semelhantes	100
Clubes e semelhantes	100
Escolas e semelhantes	100 para os primeiros 12 kW 50 para o que exceder de 12 kW
Escritórios (edifícios de)	100 para os primeiros 20 kW 70 para o que exceder de 20 kW
Garagens comerciais e semelhantes	100
Hospitais e semelhantes	40 para os primeiros 50 kW 20 para o que exceder de 50 kW
Hotéis e semelhantes	50 para o que exceder de 20 kW 40 para os seguintes 80 kW 30 para o que exceder de 100 kW
Residências (apartamento residenciais)	70 para os primeiros 50 kW 35 para os seguintes 50 kW 24 para o que exceder de 10 kW
Restaurantes e semelhantes	100
Indústrias em geral	100

Fonte: CNC-OMBR-MAT-18-0125-EDCE (2019)

Fp - Fator de potência das luminárias e tomadas. Seu valor é determinado de acordo com o tipo de iluminação e reatores utilizados;

b - demanda de todos os equipamentos de aquecimento em quilowatts (chuveiros, Aquecedores, fornos, fogões etc.), calculados de acordo com a Tabela 4;

Tabela 4 – Demanda de aparelhos de aquecimento

Número de aparelhos	Fator de demanda %	
	Potência individual até 3,5 kW	Potência individual acima de 3,5 kW
1	80	80
2	75	65
3	70	55
4	66	50
5	62	45

Fonte: Adaptado CNC-OMBR-MAT-18-0125-EDCE (2019)

c - demanda de todos os aparelhos de ar-condicionado, em kW, calculada conforme Tabela 5;

Tabela 5 - Fator de demanda para condicionadores de ar

Números de aparelhos	Fator de demanda (%)
1 a 10	100
11 a 20	86
21 a 30	80
31 a 40	78
41 a 50	75
51 a 75	70
76 a 100	65
Acima de 100	6

Fonte: CNC-OMBR-MAT-18-0125-EDCE (2019)

d - Potência nominal da bomba d'água do sistema de atendimento das instalações, em kW (sem considerar a bomba reserva);

e - Demanda de todos os elevadores, em kW, calculada conforme Tabela 6;

Tabela 6 - Fator de demanda para elevadores

Número de elevadores por bloco	Fator de demanda (%)
1	80
2	70
3	65
4	60
5	50
Acima de 5	45

Fonte: CNC-OMBR-MAT-18-0125-EDCE (2019)

G - Outras cargas não relacionadas em kVA (Neste caso o projetista deve estipular o fator de demanda característico delas).

O valor de F deve ser determinado pela equação 02 da norma CNC-OMBR-MAT-18-0125-EDCE:

$$F = \sum 0,87Pnm \times Fu \times Fs \quad (02)$$

na qual:

Pnm: potência nominal dos motores em cv utilizados em processo industrial;

Fu: fator de utilização dos motores, fornecido na Tabela 7;

Tabela 7 - Fator de utilização - FU

Aparelhos	FU
Fornos a resistência, secadores, caldeiras	1
Fornos de indução	1
Motores de ¼ - 2,5 cv	0,7
Motores de 3 - 15 cv	0,8
Motores de 20 - 40 cv	0,9
Acima de 40 cv	0,9
Soldadores	1
Retificadores	1

Fonte: CNC-OMBR-MAT-18-0125-EDCE (2019)

Fs - fator de simultaneidade dos motores, fornecidos na Tabela 8;

Tabela 8 - Fator de simultaneidade - FS

Aparelhos	Número de aparelhos							
	2	4	5	8	10	15	20	50
Motores: ¼ - 2,5 cv	0,85	0,8	0,75	0,7	0,6	0,55	0,5	0,4
Motores: 3 – 15 cv	0,85	0,8	0,75	0,75	0,7	0,65	0,55	0,45
Motores: 20 – 40 cv	0,8	0,8	0,8	0,75	0,65	0,6	0,6	0,5
Acima de 40 cv	0,9	0,8	0,7	0,7	0,65	0,65	0,65	0,6
Retificadores	0,9	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7	0,7	0,7
Soldadores	0,45	0,45	0,45	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3
Fornos resistivos	1	1	-	-	-	-	-	-
Fornos de indução	1	1	-	-	-	-	-	-

Fonte: CNC-OMBR-MAT-18-0125-EDCE (2019)

3.6.2 Critério para dimensionamento físico

Nesta seção serão abordados critérios para o dimensionamento de uma subestação do consumidor de média tensão.

3.6.2.1 Escolha de tipo de transformador

A partir do cálculo da demanda será especificado qual a potência do transformador deve ser escolhida. Quanto a escolha do transformador vai depender do tipo de ambiente, para definir a escolha do trafo.

A NBR 14039 Seção 9.4 Item 9.4.3 estabelece que somente transformadores de líquidos isolantes não inflamáveis ou transformadores a seco e disjuntores a vácuo ou SF6, são permitidos quando a subestação for parte de uma edificação. Tem ainda uma nota de que se considera parte integrante apenas com recintos não isolados ou sem paredes de alvenaria e portas corta-fogo.

Na seção 9.4 item 9.4.4 da NBR 14039, estabelece que quando a subestação de transformação fizer parte integrante da edificação residencial e/ou comercial, somente é permitido o emprego de transformadores a seco e disjuntor e as vácuo ou SF6, mesmo que haja paredes de alvenaria e portas corta-fogo.

3.6.2.2 Altura da subestação

De acordo com (FILHO, 2021) a determinação da altura mínima e distância horizontal mínima da subestação pode ser determinada a partir da equação 03.

$$H_{SE} = H_t + H_{ac} + H_c + H_i + H_{ab} \quad (03)$$

sendo:

Hse – altura total da subestação;

Ht – altura total do transformador (pode ser obtida pela Tabela 8);

Hac – afastamento da chave seccionadora (a critério do projetista; usar, em média, 300 mm);

Hc – altura da chave seccionadora (depende do fabricante; para chave de 15 kV usar, em média, 600 mm);

Hi – altura do isolador (depende do fabricante: para isoladores de 15 kV usar, em média, 250 mm);

Hab – afastamento do barramento obtido através da Tabela 9.

Tabela 9 - Afastamento dos barramentos de média tensão

Serviço Interno				Serviço Externo			
Fase -fase (mm)		Fase -terra (mm)		Fase -fase (mm)		Fase -terra (mm)	
Mínimo	Recomendado	Mínimo	Recomendado	Mínimo	Recomendado	Mínimo	Recomendado
160	200	130	150	170	300	160	200

Fonte: CNC-OMBR-MAT-18-0125-EDCE

3.6.2.3 Cubículo de medição

Tem a função de abrigar os equipamentos de medição para medir o consumo de energia elétrica e só é acessível aos autorizados pela concessionária. Esta zona da subestação abriga todos os equipamentos utilizados para efetuar as medições, nomeadamente: transformadores de corrente, transformadores de tensão e contadores de energia. Nenhum dos aparelhos são adquiridos pelos consumidores, para evitar fraudes e erros de cobrança. Dependendo da potência requerida pelo usuário, as medições podem ser feitas em alta ou baixa tensão (MACHADO, 2007).

Os critérios para determinar o cubículo de medição variam de concessionária para concessionária. Segundo Filho (2021) o tamanho mínimo de uma sala de medição também varia de acordo com a concessionária. Normalmente, o espaço físico mínimo utilizado é de 1,60 m x 2,00 m (FILHO, 2021).

3.6.2.4 Cubículo de proteção

Este cubículo destina-se a acomodar a instrumentação do sistema de proteção, ou seja, a instrumentação do relé, com as funções básicas de proteção contra sobrecorrentes instantânea (50) ou temporizada (51). Além disso, fornece alimentação auxiliar para comando

da subestação e serviços auxiliares, como energização de relés e motorização de disjuntores, que requerem uma alimentação ininterrupta. (BELLEZA, 2021).

Segundo Filho (2021), a dimensão mínima é calculada pela equação 04 reproduzidas da NBR 14039:

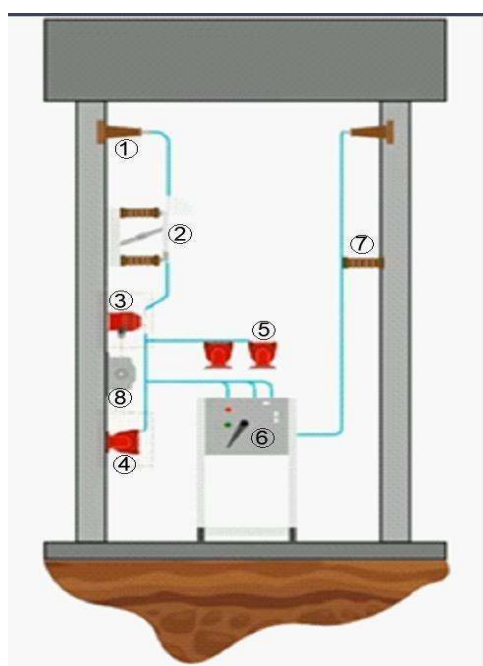
$$D_{cp} = D_d + 1000 \text{ mm} \quad (04)$$

D_{cp} - dimensão da cabine: comprimento e largura, em mm;

D_d - dimensão do disjuntor referida à direção em que se quer medir a dimensão do posto, em mm.

O compartimento permite ligar e desligar intencionalmente o sistema com o disjuntor de média tensão, ou interromper o sistema em caso de falha, e isolar com segurança o sistema elétrico com o seccionador para manutenção. Na figura 20 mostrado o cubículo de proteção, mas nem toda SE precisa seguir esse padrão.

Figura 20 - Cubículo de proteção



Legenda

- 1- Mufla interna;
- 2- Chave seccionadora (abertura sob carga);
- 3- TC – Transformador de corrente para proteção;
- 4- TP – Transformador de potencial para proteção;
- 5- TP – Transformador de potencial para alimentação da proteção;
- 6- Disjuntor de alimentação das cargas essenciais (serviços auxiliares) de média tensão;
- 7- Isolador de pedestal;
- 8- Punho de manobra da chave seccionadora.

Fonte: (BELLEZA, 2021)

3.6.2.5 Cubículo de transformação

Este ambiente é responsável por abrigar os transformadores de potência. Se a potência do transformador for igual ou superior a 500kVA e houver fluido isolante inflamável,

é necessário instalar barreiras contra incêndio e dispositivos de drenagem de óleo, ou seja, bacia de contenção e sistema S.A.O (separação água - óleo) para prevenir possíveis incêndios, conforme (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS BRASILEIRAS, 2005).

Pela equação 05 é calculada as dimensões mínimas reproduzidas da NBR 14039:

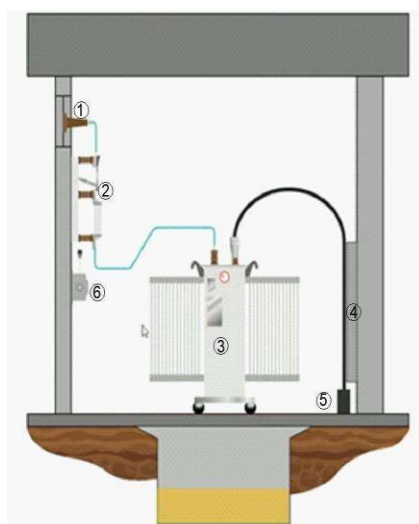
$$DD_{ct} = D_d + 1000 \quad (05)$$

D_{ct} = dimensão da cabine: comprimento e largura, em mm;

D_t = dimensão do transformador: comprimento ou largura em mm.

O cubículo de transformação consiste nos seguintes componentes listados abaixo, conforme mostrado na figura 21, mas nem toda SE precisa seguir esse padrão.

Figura 21 - Cubículo de transformação



Legenda:

- 1- Mufla interna;
- 2- Chave seccionadora com base fusível (tipo HH);
- 3- Transformador de potência;
- 4- Eletrocalha
- 5- Duto de distribuição / caixa de passagem;
- 6- Punho de acionamento.

Fonte: BELLEZA (2021)

3.6.2.6 Porta de entrada da subestação

O acesso principal da subestação deve possuir porta metálica de abertura externa, com dimensão mínima de 0,80 x 2,10 m, conforme NBR-14039 e deve ser fornecida uma placa contendo a frase "Risco de vida - alta tensão" e um símbolo indicador de risco de choque elétrico. Para determinar a largura da porta de acesso à subestação, é preciso considerar o tamanho do maior equipamento instalado, no caso o transformador de potência, conforme a equação 06 (SOUSA, 2007).

$$L_p = D_t + 0,6 \quad (06)$$

em que:

L_p - Largura da porta de acesso (m);

D_t - Dimensão do transformador: comprimento ou largura, em (m).

3.6.2.7 Abertura de ventilação

As saídas de ar devem estar localizadas no topo da plataforma, o mais próximo possível do teto. Como os transformadores costumam ser os equipamentos com maiores perdas Joule, os respiros das subestações devem ser dimensionados de acordo com sua potência nominal, cujo valor absoluto é diretamente proporcional às suas perdas totais Filho (2017).

3.6.2.8 Área de circulação

De acordo com a NBR-14039, a área de circulação do corredor deve ter no mínimo 0,70 metros de vão livre, considerando o pior cenário, onde todas as portas e telas estão abertas e os equipamentos são retirados para manutenção, para garantir a movimentação segura dos operadores dentro da subestação (SOUSA, 2007).

3.6.2.9 Ramal de entrega de energia

Segundo Filho (2003), o ramal de entrega de energia é aquele ao qual a concessionária se compromete a fornecer energia elétrica e é responsável técnica pela execução dos serviços de construção, operação e manutenção. No entanto, não deve ser confundido com pontos de medição. De acordo com o tipo de subestação do consumidor, o ponto de entrega pode ser: subestação com entrada aérea e subestação com entrada subterrânea.

3.6.3 Critério para proteção da subestação em média tensão

Conforme a CNC-OMBR-MAT-18-0125-ECE/2019, em subestação abrigada para transformador até 300kVA, a proteção geral das instalações pode ser feita por meio de chave seccionadora e fusível no lado da média tensão, sem necessidade, portanto, do disjuntor geral e relés secundários na média tensão. A proteção deve atender às prescrições da ABNT NBR 14.039, e às disposições estabelecidas nas subseções a seguir.

3.6.3.1 Proteção contra sobretensão

A proteção de componentes das instalações elétricas contra sobre tensões transitórias (surtos) deve ser feita com a utilização de para-raios, cujas características estão indicadas no item 7.11.4 da NBR-14039, e o seguinte:

a) um para-raio por fase, com especificações compatíveis com o nível de tensão da linha protegida.;

b) A ligação dos para-raios à malha de aterramento deve ser feita com cabo de cobre ou cabo equivalente, seção mínima de 25 mm² para SE de média tensão, com isolamento na cor verde ou nu, se for instalado em eletroduto este deve ser de PVC, independente dos demais condutores de aterramento, tão curto e retilíneo quanto possível e sem emendas ou quaisquer dispositivos que possam causar sua interrupção, observando-se que na haste da malha, utilizada para essa ligação, não devem ser conectados quaisquer outros condutores de aterramento.

Conforme a tabela 3 do 6.4.1 CNC-OMBR-MAT-20-0095-EDBR, estão indicadas as características nominais dos para-raios a serem instalados nas subestações e redes de distribuição do sistema de média tensão. A tabela 10 apresenta essas características.

Tabela 10 - Características Nominais de para-raios

código	tipo	descrição	Número do desenho
677341	C3	Para-raios de óxido de zinco, involucro polimérico, distribuição, tensão nominal 12 kV, corrente de descarga nominal 10 kA, NBI 110 kV, distância de escoamento 465 mm, com suporte L	155.01
6800271	C4	Para-raios de óxido de zinco, involucro polimérico, distribuição, tensão nominal 12 kV, corrente de descarga nominal 10 kA, NBI 95 kV, distância de escoamento 465 mm, com suporte L	155.01
6772618	C4	Para-raios de óxido de zinco, involucro polimérico, distribuição, tensão nominal 12 kV, corrente de descarga nominal 10 kA, NBI 110 kV, distância de escoamento 465 mm, sem suporte L	15501

Fonte: Adaptado de CNC-OMBR-MAT-20-0095-EDBR (2018)

3.6.3.2 Proteção contra sobrecorrente

Conforme modo de instalação 3 da norma CNC-OMBR-MAT-20-0942-EDBR, a proteção geral contra sobrecorrentes para potências instaladas até 300kVA poderá ser realizada por fusíveis HH localizados na, na entrada de alimentação do transformador.

Fusível limitador de corrente, a serem utilizados para proteção geral das instalações, devem ser do tipo HH e de corrente nominal compatível com a potência do transformador de serviço, conforme item 7.12.2 da norma citada acima e descrito resumidamente a seguir.

Para determinar a corrente nominal do fusível limitador na proteção primária do transformador de potência, normalmente é utilizado 120% da corrente nominal do transformador.

$$I_{nf} = 1,2 \times I_{np} \quad (07)$$

Na qual:

I_{nf} - Corrente nominal do fusível limitador (A);

I_{np} = Corrente nominal no primário (A).

A seleção adequada de uma chave fusível requer é mostrado na Tabela 11.

Tabela 11- Coordenação de valores nominais de 6,6 kV a 13,8 kV.

Potência do transformador (kVA)	Transformador trifásico					
	6,6 kV		13,8 kV		22 kV	
	Corrente (A)	Fusível	Corrente (A)	Fusível	Corrente (A)	Fusível
125	13,12	15K	6,28	8K	3,94	5H
150	19,68	20K	9,41	10K	5,90	6K
300	26,34	30K	12,55	15K	7,87	10K

Fonte: Adaptado de Filho (2018)

3.6.4 Critério para o dimensionamento de condutores de MT

A NBR 14039 recomenda diversos métodos de dimensionamento de cabos de média tensão. Isso ajuda a determinar o tamanho da seção do cabo. Os cabos elétricos precisam ser dimensionados corretamente com base em vários critérios. Um dos critérios é pela capacidade de condução de corrente, calculado pela corrente do projeto, dada pela equação 08, e dimensionada pela seção mínima da tabela 28 da NBR 14039.

$$I_{np} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \times V_{np}} \quad (08)$$

Na qual:

I_{np} : corrente nominal do primário (A);

P_n : potência aparente nominal do transformador (kVA);

V_{np} : tensão nominal de linha no primário do transformador (kV).

Um outro critério é pela queda de tensão, para que possa ser feito a análise da queda de tensão no condutor através da equação 09.

$$S_c = \frac{\sqrt{3} \times I_c \times L_c \times F_p}{\rho \times V_{np} \times \Delta V_c (\%)} \quad (09)$$

Na qual,

I_c – Corrente total do circuito (A);

L_c - Comprimento do circuito, do ponto de alimentação até a carga (m);

F_p – Fator de potência;

ρ - Resistividade do condutor ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$);

V – Tensão nominal no primário (V);

ΔV - Queda de tensão máxima admitida (%);

Pode-se calcular a corrente total do circuito pela equação 10:

$$I_c = \frac{V_n}{\sqrt{3} \times Z(\%)} \quad (10)$$

Na qual,

V_n – tensão nominal no primário (V);

Z – Impedância do transformador (%).

A norma CNS-OMBR-MAT-18-0135-EDBR ENEL-CE, que trata dos critérios de projeto para a rede aérea de baixa e média tensão, especifica as seções dos cabos que podem ser adotados.

3.6.5 Critério para proteção da subestação em baixa tensão

Segundo a norma CNC-OMBR-MAT-20-0976-EDSP – ENEL, é obrigatória a utilização de disjuntor como proteção na baixa tensão. Na subseção seguinte é apresentado o dimensionamento deste dispositivo de proteção, para esse nível de tensão.

3.6.5.1 Critério para a proteção contra sobrecorrente em BT

Os disjuntores são dimensionados para proteger principalmente os equipamentos contra correntes de sobrecarga e curtos-circuitos, de forma eficiente, atuando sempre que necessário. Para seu dimensionamento é usada a equação 08 para calcular a corrente nominal no secundário do transformador de potência e a equação 10, para o cálculo da corrente de curto-circuito no secundário.

Condições que devem ser atendidas para proteção de sobrecorrente conforme NBR 5410:2004:

$$I_p \leq I_n \leq I_z \quad (11)$$

$$I_2 \leq 1,45 I_z \quad (12)$$

Na qual,

I_p - corrente de projeto do circuito;

I_z - máxima corrente dos condutores em regime permanente, conforme método de instalação prevista em norma, obtido na tabela 39 da NBR - 5410;

I_n - corrente nominal do equipamento de proteção;

I_2 - corrente convencional de atuação, para disjuntores, ou corrente de fusão, para fusíveis.

3.6.5.2 Critério para o dimensionamento dos condutores baixa tensão

De acordo com a NBR 5410, o dimensionamento dos cabos de baixa tensão deve-se levar em consideração a queda de tensão e a capacidade de corrente e proteção contra curto-circuito. A partir da tabela 39 da NBR – 5410 se dimensiona a seção do condutor de baixa tensão, através dos cálculos de corrente do projeto e queda de tensão máxima admissível apresentada na equação 13.

$$\Delta V_{unit} = \frac{e(\%) \times V_n}{I_p \times L} \quad (13)$$

Na qual,

e (%) - percentual de queda de tensão máxima admissível;

V_n - tensão nominal de fase em V;

I_p - corrente de projeto em A;

L – comprimento do circuito em km.

3.6.6 Critério para o dimensionamento de aterramento

Conforme a norma CNC-OMBR-MAT-18-0125-EDCE, o aterramento deve obedecer aos seguintes requisitos:

Os equipamentos da subestação devem estar sobre a área ocupada pela malha de terra. Quando isto não for possível, o interessado deve consultar a Enel Distribuição Ceará;

O condutor de aterramento que liga o terminal ou barra de aterramento principal à malha de terra deve ter seção mínima de 50mm²;

O condutor de aterramento que interliga as hastes de aterramento deve ter seção mínima de 35m;

Devem ser ligados ao sistema de aterramento por meio de condutor de cobre nu, de seção mínima de 25mm² os seguintes componentes de uma subestação:

- Todas as ferragens para suporte de chaves, isoladores etc.;
- Portas e telas metálicas de proteção e ventilação;
- Blindagem dos cabos isolados;
- Carcaça dos transformadores de potência e de medição, geradores (se houver), disjuntores, capacitores etc.;
- Todos os cubículos em invólucros metálicos mesmo que estejam acoplados;
- Neutro do transformador de potência e gerador (se houver);
- Condutores de proteção da instalação.

Este capítulo se concentrou em apresentar os conceitos e métodos para dimensionar projetos para subestação do consumidor de média tensão.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

Para projetos de subestação abrigada, é necessário conhecer os padrões locais das concessionárias, pois cada concessionária tem seus próprios regulamentos, com relação à construção e instalação de subestações de consumo. Além de conhecer as normas da proteção, é preciso desenvolver o diagrama unifilar do projeto e o dimensionamento dos equipamentos que serão instalados no cubículo (SOUSA, 2007). se tiver disjuntor de média, é necessário incluir também o diagrama multifilar deste equipamento.

4.1 Estudo de Projeto de Subestação Abrigada

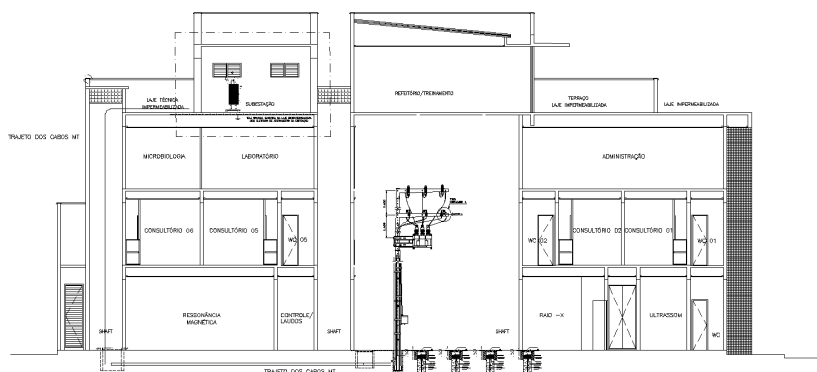
Para iniciar o projeto de uma subestação é necessário obter informações sobre as cargas instaladas no sistema. O estudo das cargas é essencial para um projeto adequado, pois conhecendo o comportamento das cargas em relação ao tempo é possível determinar o dimensionamento dos condutores, transformadores e os equipamentos pertencentes à subestação (SILVA, 2013).

Carga instalada, fator de potência, modo de operação e ramos de atividade (incluindo conversões) devem ser avaliados, calculados ou estimados para determinar os requisitos de projeto.

4.1.1 Descrição da edificação

A edificação em estudo é composta por 4 pavimentos, sendo considerado o Térreo, 1º Pavimento, 2º Pavimento e Cobertura (pavimento onde vai se localizar a subestação com transformador a seco de 300kVA em abrigo executado por paredes em alvenaria e lajes de piso e teto de concreto (ANEXO B). A figura 22 ilustra o desenho da frente da Clínica São Camilo, em Fortaleza.

Figura 22 – Vista frontal da fachada da edificação.



Fonte: Próprio autor

4.2 Característica da Subestação

O presente projeto é de uma subestação de 300 kVA abrigada, que deve suprir a demanda de energia elétrica do cliente, CLÍNICA SÃO CAMILO LTDA, Situado na R. Nogueira Acioli, 453 - Centro, Fortaleza – CEP: 60160-280.

O fornecimento de energia será feito em média tensão, no padrão ENEL CE, conforme peças gráficas anexas, portanto, a medição será realizada por meio de um conjunto de medição polimérico.

4.2.1 Ponto de entrega

O poste ENEL mais próximo da unidade consumidora possui identificação: SF 2107 e coordenadas geográficas: (LAT S -3.7249921; LONG O -38.5253408) (ANEXO C).

4.3 Demanda da Instalação

Para calcular os requisitos dessa instalação é necessário calcular todas as demandas dele, deste modo, os circuitos de ramificação de entrada e os circuitos de alimentação do quadro de distribuição podem ser projetados de forma mais realista e econômica. Como resultado, a corrente de projeto é reduzida, a seção do condutor de alimentação e o valor da corrente de

proteção do disjuntor são reduzidos de forma correspondente. As demandas deste projeto foram calculadas de acordo com a norma CNC-OMBR-MAT-18-0125-EDCE no item 6.15 da mesma. Na tabela 12, são apresentados os levantamentos de todas as cargas da clínica.

Tabela 12 - Tipos de carga.

TIPO DE CARGA	POTÊNCIA (W)	DESCRIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS
ILUMINAÇÃO E TOMADAS DE USO GERAL - FATOR A		
QLF-Cobertura	7020	
QLF-2o PAV	14380	
QLF-2o PAV Lab.	20380	
QLF-1oPAV	17000	
QLF-Térreo	11200	
CARGAS DE AQUECIMENTO - FATOR B		
QLF-2o PAV	3200	2Chuveiros elétricos
CARGAS DE AR-CONDICIONADOS - FATOR C		
		33 equipamentos
QFARC-2° PAV	26408	
QFARC-1°PAV	22296	
QFARC-TERREO	21920	
QLF-Cobertura	5496	
BOMBAS DE ÁGUA- FATOR D		
Bomba de Incêndio	3,675	1
ELEVADORES - FATOR E		
QF-ELEVADORES	10200	
MOTORES – FATOR F		
2 motores de 5 cv	7354,99	
CARGAS ESPECIAIS - EQUIPAMENTOS MÉDICOS - FATOR G		
QF-EQUIP TERREO	12,0	ULTRASSOM
QF-EQUIP TERREO	12,0	ULTRASSOM
QF-EQUIP TERREO	49,0	RAIO X
QF-EQUIP TERREO	60	TOMÓGRAFO
QF-EQUIP TERREO	12,0	DENSIDRÔMETRO
QF-EQUIP TERREO	12,0	MAMÓGRAFO
QF-EQUIP TERREO	33,0	RESSONÂNCIA MAGNÉTICA

Fonte: próprio autor (2022)

4.3.1 Resumo total das demandas

Na tabela 13 temos as informações do resumo total das demandas de todas as cargas.

Tabela 13 - Resumo total das demandas.

Iluminação e tomadas de uso geral – FATOR A	69,98 kW
Cargas de aquecimento - FATOR B	3,2 kW
Cargas de ar-condicionado - FATOR C	76,12 kW
Bombas de água - FATOR D	3,67 kW
Cargas de elevador - FATOR E	10,2 kW
Cargas de motor - FATOR F	7,35 kW
Cargas especiais – Equipamentos médicos - FATOR G	190 kW

Fonte: próprio autor (2022)

4.3.2 Cálculo da demanda das potências de iluminação e tomadas

Para este cálculo foi somado todas as potencias do fator A, e posteriormente foi considerado o fator de demanda 40 % para os primeiros 50kW, 20 % para os restantes conforme Tabela 3, para a obtenção do fator A conforme a equação 14.

Aplicando esses valores temos que:

$$a = 0,4 \times 50 \text{ kW} + 0,2 \times 19,98 \text{ kW} = 23,99 \text{ kW} \quad (14)$$

4.3.3 Cálculo da demanda de aparelhos de aquecimento

Conforme a Tabela 13, temos uma carga de 3,2 kW para os aparelhos de aquecimento. Essa potência está abaixo de 3,5 kW, portanto o fator de demanda considerado é de 75%, conforme a tabela 4.

Aplicando esses valores temos que:

$$b = 0,75 \times 3,2 = 2,4 \text{ kW} \quad (15)$$

4.3.4 Cálculo da demanda de todos os aparelhos de ar-condicionado

O cálculo destes aparelhos se deu através do valor de fator de demanda obtido através da tabela 5 multiplicado pela potência dos 33 ar-condicionado. Esse cálculo está demonstrado na equação 16.

Aplicando esses valores temos que:

$$c = 0,78 \times 76,12 = 59,37 \text{ kW} \quad (16)$$

4.3.5 Cálculo da demanda dos motores das bombas de serviço

Neste cálculo foi usado a potência de $5cv = 3,68 \text{ kW}$, correspondente ao motor de bomba de serviço da instalação, com um fator de demanda 1. Aplicando esses valores temos que:

$$d = 1 \times 3,68 = 3,68 \text{ kW} \quad (17)$$

4.3.6 Cálculo da demanda dos elevadores

Aqui temos a existência de 1 elevador com a potência de $10,2 \text{ kVA}$, que se multiplica pelo fator de demanda obtido na tabela 6.

Aplicando esses valores temos que:

$$e = 0,80 \times 10,2 = 8,16 \text{ kVA} \quad (18)$$

4.3.7 Cálculo da demanda dos motores elétricos

Temos a existência de dois motores de 5 cv correspondente a $7,35 \text{ kW}$. Os valores de $F_u = 0,87$ (Tabela 07) e $F_s = 0,85$ (Tabela 08). Deste modo aplicou-se a equação 02 da subseção 3.6.1 para a obtenção do fator F.

Aplicando esses valores temos que:

$$F = \sum 0,87 P_{nm} \times F_u \times F_s = 0,87 \times 7,35 \times 0,8 \times 0,85 = 5,44 \text{ kVA} \quad (19)$$

4.3.8 Cálculo da demanda do fator G (outras cargas)

Expresso em kVA, é uma forma de listar as cargas que não atendem a nenhum dos outros requisitos. A potência e o fator de demanda da carga devem ser comunicados. Devido à natureza dessas cargas, esse fator de demanda deve ser especificado pelo projetista. Conforme a tabela 13 temos uma carga total de 190 kVA das cargas especiais que será multiplicado por um fator de demanda de 50% considerado. A equação 20 demonstra esse cálculo.

Aplicando esses valores temos que:

$$G = 190 \times 0,5 = 95 \text{ kVA} \quad (20)$$

4.3.9 Cálculo da demanda máxima presumível em kVA

Aqui encontram-se presente o cálculo da demanda máxima presumível de todas as demandas calculadas anteriormente e considerando o fator de potência dos reatores em $0,92$.

Após o cálculo foi multiplicado um percentual de 20% para reserva conforme demonstra a equação 21.

$$D = \left(\frac{0,77}{0,92} 23,99 + 0,7 \times 2,4 + 0,95 \times 56,40 + 0,59 \times 2,171 + 1,2 \times 9,792 + 5,44 + 95 \right)$$

$$D = 189,28 \times 1,20 = 227,7 \text{ kVA} \quad (21)$$

4.4 Dimensionamento físico da subestação

4.4.1 Transformador

Para o dimensionamento do transformador de potência, foi considerado o cálculo da demanda máxima presumível, para especificar a sua potência.

Quanto a escolha, como a subestação de transformação faz parte integrante da edificação, então o tipo de transformador será a seco.

Portanto, uma escolha adequada segundo NBR – 14039 seria um transformador de potência de 300kVA, que é o valor comercial mais próximo da demanda latente total calculada, e reserva 73,3kVA para futura expansão do sistema. A Tabela 14 mostra os dados fornecidos por um fabricante para o transformador de 300 kVA dimensionado.

Devem possuir o primário em delta e o secundário em estrela aterrada, com ensaios e laudos atendendo as normas NBR – 5356 e Cap. 04 da NBR 9396.

Tabela 14 - Folha de dados de transformador de potência

Transformador de potência	
Potência nominal (kVA)	300
Perdas devido à carga (75°C)	3.360 W
Perdas em vazio	950 W
Impedância de curto-circuito	5,0%
Corrente de excitação	2,2
Nível de ruído	55 (dB)
Resfriamento	SF6 – a seco
Altura (mm)	1380
Largura (mm)	1620
profundidade (mm)	97
Peso	1.150 Kg

Fonte: WEG (2023)

4.4.2 Altura da subestação

A determinação da altura da subestação é dada a partir da equação 03 da subseção 3.6.2.2, com os seguintes dados:

H_t - 1380 mm (altura do transformador);

H_{ac} - 200 mm (valor admitido);

H_c - 500 mm (valor admitido);

H_i - 300 mm (valor admitido);

H_{ab} - 160 mm (Tabelas 9 para a tensão nominal do sistema de 13,8 kV e 95 kV de tensão suportável de impulso).

$$H_{SE} = 1380 + 200 + 500 + 300 + 160 = 2540 \text{ mm} = 2,540 \text{ m} \quad (22)$$

Tem-se então uma altura de 2,540 m, que atende a norma NBR 14039. Para este projeto será adotado uma altura de 3,13m.(ANEXO E)

4.4.3 Cubículo de medição

Segundo (Filho, 2021), o cubículo de medição para uma subestação abrigada deve ocupar um espaço mínimo de 1,60 metros de largura por 2,00 metros de profundidade.

O conjunto de medição será implantado no limite do terreno com a via pública. A estrutura de medição possui poste especificado de 300/11.

A medição da subestação será feita através de um conjunto de medição polimérico, o qual é o recomendado no item 6.8 da norma (CNC-OMBR-MAT-20-0942-EDBR, 2021) - Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Primária de Distribuição, quando o fornecimento acontece em média tensão.

A medição será em média tensão, através de um conjunto de medição compacto, o medidor deverá ser instalado internamente ao conjunto de medição, juntamente com um módulo de tele medição (CNC-OMBR-MAT-20-0942-EDBR, 2021).

Um display de medição deve ser instalado internamente a unidade consumidora, abrigado em caixa padronizada, fixada a 1,60 m do solo e conectado ao medidor através de fibra ótica, instalada dentro de um eletroduto de PVC 25 mm.

4.4.4 Cubículo de proteção

Para determinar o espaço físico mínimo para este compartimento, aplicou-se a equação (04) da subseção 3.6.2.4.

$$D_{pl} = 900 + 1000 = 1900 \text{ mm} = 1,9 \text{ m} \quad (23)$$

$$D_{pc} = 700 + 1000 = 1700 \text{ mm} = 1,7 \text{ m}$$

O valor de 900 mm corresponde aproximadamente à largura de um cubículo de média tensão. o valor de 700 mm corresponde aproximadamente à largura de um disjuntor de média tensão quando visto de frente.

As dimensões adotadas do cubículo de proteção serão 1,28 x 2,97 m (ANEXO D).

4.4.5 Cubículo de transformação

Para determinar o espaço físico mínimo para este compartimento, aplica-se a equação (05) da subseção 3.6.2.5, juntamente com os dados dimensionais do transformador de potência obtidos na Tabela 14.

Profundidade – 97 mm (corresponde à menor dimensão do transformador de 300 kVA, de acordo com a Tabela 13);

Largura - 1620 mm corresponde à maior dimensão do transformador de 300 kVA, de acordo com a Tabela 14.

O comprimento mínimo do compartimento é:

$$D_p = 97 + 1000 = 1097 \text{ mm} = 1,097 \text{ m} \quad (24)$$

A largura mínima do compartimento é:

$$D_p = 1620 + 1000 = 2620 \text{ mm} = 2,620 \text{ m} \quad (25)$$

No entanto, os padrões da ENEL CE exigem uma largura mínima de 2,50 m, portanto, as dimensões adotadas do cubículo de transformação serão de 2,97 x 2,99 m (ANEXO E).

4.4.6 Porta de entrada da subestação

Aplicando a equação (06) da subseção 3.6.2.6, e com o valor D_t obtido na tabela 14 tem-se:

$$L_p = D_t + 0,6 = 1380 + 0,6 = 1380,06 \text{ mm} = 1,38 \text{ m} \quad (26)$$

Visto que, o equipamento de maior dimensão é o transformador com 1,620 m de largura, então se adotou a seguinte dimensão para a porta de entrada de subestação com 1,92 m

x 2,10 m (ANEXO F). Esta dimensão adotada condiz com a dimensão mínima da norma CNC-OMBR-MAT-18-0125-EDCE, onde diz que as portas de acesso a pessoas devem ser metálicas ou totalmente revestidas em chapas metálicas com dimensões mínimas de 0,80m x 2,10m, abrindo, obrigatoriamente, para fora;

4.4.7 Área de circulação

Conforme exposto na subseção 3.6.2.8 deste trabalho, a área de circulação do corredor deve ter no mínimo 0,70 metros de vão livre, considerando o pior cenário onde todas as portas e telas estão abertas e os equipamentos são retirados para manutenção para garantir a movimentação segura dos operadores dentro da subestação. Portanto as dimensões adotadas é de 1,96 x 4,40 m (ANEXO D). O que atendendo aos requisitos mínimos de distância e segurança exigidos pela norma (CNC-OMBR-MAT-18-0125-EDCE, 2019).

4.4.8 Abertura de ventilação

A ventilação dos módulos da subestação será feita por janela do tipo veneziana de dimensões de 1000 x 500 mm, com tela de proteção em arame 0,8 mm (20BWG) e malha de 5 mm a 13 mm, conforme detalhes em projeto. Todas as janelas deverão ser aterradas.

Adicionalmente será instalado um sistema de exaustão para aumentar a eficiência do sistema de ventilação. O Exaustor terá diâmetro de 300 mm e vazão de 2100 m³/h.

4.4.9 Ramal de entrega de energia

O padrão de entrada será em estrutura única através da rede que passa Rua Tv. Castro Alves que deve ser levada até o local da subestação no pavimento de Cobertura da Edificação, de acordo com a planta de situação elaborada (ANEXO C). O poste que vai ser utilizado na entrada será de 11 m, com esforço nominal de 300daN de acordo com a tabela da norma (CNC-OMBR-MAT-20-0942-EDBR, 2021).

Do Shaft (abertura vertical da alvenaria) da Edificação sairão os cabos que irão entrar no abrigo da subestação e que terá os cubículos:

- cubículo de entrada em média tensão;
- cubículo do transformador de 300 kVA;
- espaço para o QGBT e Banco de Capacitor;

4.4.10 Bucha de passagem

As buchas de passagem a serem utilizadas para transpor as paredes serão buchas de passagem de porcelana ou epóxi, tipo interno/interno, com vergalhão condutor de seção mínima de 7/16"(11 mm), latão, classe 15 kV.

4.4.11 Proteção da subestação em MT

A proteção da subestação em média tensão é feita através de para-raios, seccionador e fusível conforme demonstradas nas subseções a seguir.

4.4.11.1 Proteção contra sobretensão

A proteção de componentes das instalações elétricas contra sobre tensões transitórias (surtos) deve ser feita com a utilização de para-raios.

Conforme a tabela 8 da seção 6.4.1 da norma (CNC-OMBR-MAT-18-0095-EDCE, 2018), estão indicadas as características nominais dos para-raios a serem instalados nas subestações e redes de distribuição do sistema de média tensão. A tabela 10 apresenta tais características.

A proteção em média tensão contra sobretensões será feita através de: Para-raios tipo Resistor Não-Linear (Óxido de Zinco), tipo C4, polimérico, distância de escoamento de 465 mm, com classe de tensão 15 kV, capacidade mínima de ruptura 10 kA e nível de isolamento 95 kV.

Localizados em:

Estrutura do conjunto de medição do lado da fonte, solidamente aterrados através de cabo cobre nu 50 mm² que se interligarão as hastes de terra "Copperweld" de 5/8 "x 3,00 m".

Estrutura do conjunto de medição do lado da carga, solidamente aterrados através de cabo cobre nu 50 mm² que se interligarão as hastes de terra "Copperweld" de 5/8 "x 3,00 m".

Cubículo de entrada da subestação (uso interno), antes da chave seccionadora e solidamente aterrados através de cabo cobre nu 50 mm² que se interligarão ao eletrodo de aterramento da subestação.

4.4.11.2 Proteção contra sobrecorrente

Conforme modo de instalação 3 da norma CNC-OMBR-MAT-20-0942-EDBR, a proteção geral contra sobrecorrentes para potências instaladas até 300 kVA poderá ser realizada por fusíveis HH localizados na subestação.

Visando um aumento de carga futuro, nós vamos considerar a potência do transformador e não a demanda máxima presumível para o cálculo da corrente do projeto na média tensão.

$$P_n = 300 \text{ KVA}$$

$$V_{np} = 13,8 \text{ kV}$$

$$I_{np} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \times V_{np}} = \frac{300}{\sqrt{3} \times 13,8} = 12,55 \text{ A} \quad (27)$$

Para dimensionar a chave fusível limitador de corrente na proteção primária do transformador de potência, geralmente é usado 120% da corrente nominal do transformador calculado na equação (27).

$$I_{nf} = 1,2 \times I_{np} = 1,2 \times 12,55 = 15 \text{ A} \quad (28)$$

$$\text{Logo, } I_{nf} = 15 \text{ A (Tabela 10, coluna 7)} \quad (29)$$

Sendo:

I_{nf} - Corrente nominal do fusível limitador (A);

I_{np} - Corrente nominal no primário (A).

Portanto, a tabela 11 especifica as correntes nominais dos fusíveis para várias tensões. A proteção em média tensão contra sobrecorrentes será feita através de: Fusível Limitador do tipo HH, classe 15 kV, corrente nominal 15 A e um comprimento de 325 mm. (ver desenho de diagrama unifilar (ANEXO I).

4.4.12 Dimensionamento de condutores de MT

Levando em conta que foi escolhido um transformador de 300 kVA para a alimentação da instalação, e considerando a tensão da rede primária de distribuição, foi calculada a corrente nominal do projeto através da equação (27) com o valor de $I_{np} = 12,55 \text{ A}$. Este valor é usado na tabela 28 da NBR - 14039 para a obtenção da seção mínima do condutor.

Pela tabela 15 a seção mínima do cabo de média tensão será 16 mm^2

Tabela 15 - Capacidades de condução de corrente, em ampères

Tensão nominal	Seção (mm ²)	Método de instalação definido na tabela 25								
		A	B	C	D	E	F	G	H	I
menor	16	118	137	107	120	91	72	83	84	98
ou igual	25	150	181	135	156	112	90	104	107	126
a 8,7/15 kV	35	186	217	166	187	139	109	126	128	149

Fonte: Adaptado de NBR 14039 (2004)

Cálculo da seção do condutor pelo critério da queda de tensão

Para o dimensionamento dos condutores de MT pelo método da queda de tensão, aplica-se a equação (09) da subseção 3.6.4, com os seguintes dados admitidos:

$$\rho - 56 \text{ (}\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}\text{)}$$

$$L_c - 40 \text{ mm}$$

$$F_p - 0,92$$

$$\Delta V_c - 4\%$$

Pode-se calcular a corrente de curto-circuito usando a equação (10) da subseção 3.6.4:

$$I_c = \frac{V_n}{\sqrt{3} \times Z(\%)} = \frac{13,8 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 5} = 1,59 \text{ kA} \quad (30)$$

$$S_c = \frac{\sqrt{3} \cdot I_c \times L_c \times F_p}{\rho \times V \times \Delta V_c (\%)} = \frac{\sqrt{3} \cdot 1,45 \times 10^3 \times 40 \times 0,92}{56 \times 13,8 \times 10^3 \times 4\%} = 2,98 \text{ mm}^2 \quad (31)$$

Será adotado a seção 25 mm² para condutores aéreos de média tensão que irão alimentar a subestação, de acordo com a Tabela 3 da norma (CNC-OMBR-MAT-18-0135-EDBR, 2018) que trata dos critérios de projeto para a rede aérea de baixa e média tensão. A tabela 16 apresenta essas características.

Tabela 16 - Características dos cabos de cobre Nu - CCN.

Seção (mm ²)	Formação (N ^o de fios)	Peso Aprox. (kg/km)	Diâmetro (mm)	Tensão de ruptura (daN)		Rx (Ω/km)	XL (Ω/km)	Corrente (A)
				Mínimo	Máximo			
25	7	228	6,18	739	933	0,795	0,4617	187
35	7	317	7,50	1.072	1.356	0,538	0,4510	227
70	19	624	10,60	2.105	2.661	0,276	0,4242	356

Fonte: Adaptado de CNS-OMBR-MAT-18-0135-EDBR ENEL-CE (2018)

4.4.13 Dimensionamento de barramentos primários

Os barramentos de MT dos cubículos de devem ser de cobre, sendo em vergalhão de cobre nu 3/8 (9,53 mm) de diâmetro, fixados a isoladores e obedecer ao espaçamento mínimo e cor abaixo conforme exigido pela concessionária CNC-OMBR-MAT-18-0125-EDCE.

Devem ser respeitados os seguintes afastamentos mínimos:

200 mm – entre fases;

160 mm – entre fases e terra.

Para identificação, deve ser usada a seguinte convenção de cores:

Fase A – azul;

Fase B – branco;

Fase C – vermelho;

Neutro – azul claro.

4.4.14 Dimensionamento de mufla

Como os cabos de média tensão vão entrar de forma subterrânea no cubículo de entrada da subestação, deve haver muflas terminais, cujas características são apresentadas na tabela 17.

Tabela 17 - Folha de dados de mufla 5632 3M.

Mufla	
Método de instalação	Interior/Exterior
Classe de tensão (kVA)	15
Nível básico de impulso (kV)	125
Diâmetro Mínimo e Máximo sobre a Isolação Primária (mm)	8,4 - 17,7
Diâmetro Mínimo e Máximo sobre a Cobertura do Cabo (mm)	14 - 23,4
Seção Nominal do Condutor (mm ²)	6 - 35

Fonte: 3M (2023)

4.4.15 Proteção da subestação em baixa tensão

A proteção de sobrecorrente será realizada por meio de um disjuntor termomagnético. Seu dimensionamento será detalhado na seção seguinte.

4.4.15.1 Proteção contra sobrecorrente

Conforme foi dito, prevendo um aumento de carga futuro, será considerado a potência do transformador e não a demanda máxima presumível. Visto que, é necessário calcular a corrente nominal do secundário do transformador e a corrente do curto-circuito.

$$I_{ns} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \times V_{ns}} = \frac{300 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 380} = 455,80 \text{ A} \quad (32)$$

$$I_{cc - sec} = \frac{I_{ns}}{Z\%} \times 100 = \frac{455,80}{5,5} \times 100 = 8,28 \text{ kA} \quad (33)$$

Portanto, é necessário especificar um disjuntor de proteção capaz de interromper um circuito com corrente nominal maior que 455,80 A e capaz de suportar uma corrente de curto-circuito de até 8,28 kA.

Condições que devem ser atendidas para proteção de sobrecorrente conforme equação (11) da subseção 3.6.5.1.

$$IP \leq IN \leq IZ = 455,80 \text{ A} \leq 500 \text{ A} \leq 533 \text{ A} \quad (34)$$

IZ valor obtido da tabela 39 da NBR 5410:2004, para cabos de 185 mm², método F na coluna 6.

Portanto, a proteção deve ser feita por meio de um disjuntor termomagnético em caixa moldada com nível de curto-circuito de 20 kA, com corrente nominal de 500 A.

4.4.16 Dimensionamento de condutores de baixa tensão

Dos bornes do secundário do transformador sairão os cabos que alimentarão o barramento do quadro geral de baixa tensão. Para o dimensionamento dos condutores de BT, o valor da corrente nominal da equação (32) é considerado para a obtenção da seção mínima.

Segue o dimensionamento dos condutores pelo critério da capacidade de condução de corrente. Considerando o método de instalação 14 e método de referência F, condutores em isolamento EPR 90, conforme tabela 39 da NBR5410, e com uma capacidade de condução maior 456 A são selecionados:

- Condutores fase: condutor unipolar EPR 90 Seção 185 mm²;
- Condutor neutro: condutor unipolar EPR 90 Seção 185 mm²;

Para medir a queda de tensão, usou-se um cabo de 185 mm² como foi dimensionado pelo critério anterior.

$$\Delta V_{unit} = \frac{0,03 \times 380}{455,92 \times 0,020} = 1,250 \frac{V}{A} \cdot km \quad (35)$$

$$V = 380 \text{ V};$$

$$I_p = 455,92 \text{ A};$$

$$L = 0,020 \text{ km (valor subestimado)}$$

$$e_{m\acute{a}x.} = 3\%;$$

Este valor é multiplicado pela queda de tensão obtida na tabela pronta para calcular a queda de tensão considerando o cabo de 185 mm² e um fator de potência de 0,95, a queda de tensão foi 0,48% se mostrando adequado ao circuito.

$$e = 1,250 \frac{V}{A} \cdot km \times 0,39 = 0,48\% \quad (36)$$

4.4.17 Aterramento

Conforme a norma CNC-OMBR-MAT-18-0125-EDCE, foram especificados o aterramento para a subestação.

A subestação deve ter um eletrodo de aterramento instalado situado imediatamente sob ela, embutido na laje de piso, formada por uma tela soldada ref.0246 fabricantes Gerdau, imersa por concreto. (ANEXO F e G).

Deste eletrodo seguirá um condutor de equipotencialização principal, em cobre isolado de 50 mm², diretamente para o Barramento de Equipotencialização Principal da Edificação (BEP), que, por sua vez, estará conectado ao eletrodo de aterramento da Edificação, formado por um anel de cobre na seção 50 mm².

Imediatamente sob a estrutura de entrada em MT, também será instalado um eletrodo de aterramento funcional, com 8 hastes de terra de 5/8 x 3 m do tipo Copperweld interligadas por condutores de cobre nu com seção transversal de 50 mm² com conectores de solda exotérmica e caixas de inspeção. Esta malha deverá ser interligada todas as ferragens e partes metálicas da Estrutura de Entrada MT, por meio de cabo de cobre nu de seção mínima de 25 mm². Por fim, a resistência do eletrodo de aterramento não deverá ultrapassar o valor de 10 ohms em qualquer época do ano.

4.5 Diagrama unifilar

Com todos os equipamentos devidamente dimensionados para atender aos padrões estabelecidos pela concessionária, foi desenhada uma representação unifilar precisa da subestação de 300 kVA.

Observando o esquema unifilar (ver Anexo H), percebe-se que a instalação terá uma entrada da rede ENEL-CE de 13,8 kV, passando por uma chave fusível que fica a critério da

ENEL. Os três cabos de cobre com seção a critério da ENEL, chegam no ramal de ligação e entram no cubículo de medição abrigados por um conjunto de medição polimérico e acompanhado de um display de medição. Protegidos por dois para-raios polimérico conforme dimensionado.

Os condutores do ramal de ligação da concessionária serão conectados diretamente as terminações termo contráteis (muflas) para a conversão de condutores nu em condutores de média tensão. Os condutores de média tensão isolados ao entrarem na subestação serão convertidos para vergalhão de cobre nu 3/8, protegidos por chave fusível que vai interligar os sistemas de: medição, proteção de média tensão e transformação. Durante o processo de redução de tensão, o transformador reduz tensão de entrada para o nível de 380/220V possibilitando a ligação dos equipamentos da unidade consumidora, protegida por um disjuntor termomagnético.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 Conclusões

No presente trabalho, é apresentado o método para dimensionamento de subestações de energia elétrica de média tensão baseadas nas normas da concessionária do local da unidade consumidora e normas para subestação de média tensão. São destacados os principais equipamentos que constituem uma subestação, mostrando suas principais funções, critérios de empregabilidade e parametrização.

Os principais objetivos deste trabalho, tanto gerais quanto específicos, foram alcançados de forma prática pelo método de dimensionamento proposto.

5.2 Contribuições do trabalho

Esse trabalho contribuiu muito para assimilar os conhecimentos adquiridos durante a graduação e poder fazer uma análise geral desse projeto. Com as informações coletadas ao longo do trabalho, desenvolveu-se uma estrutura adequada para o desenvolvimento de um projeto de subestação abrigada de média tensão regido pelas normas referenciadas ao longo do trabalho.

5.3 Sugestões de trabalhos futuros

Como trabalho futuro, propõe-se uma avaliação quantitativa dos benefícios da instalação de bancos de capacitores para melhorar a qualidade e eficiência energética de uma subestação.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS BRASILEIRAS. NBR 15749: **Medição de resistência de aterramento e de potenciais na superfície do solo em sistemas de aterramento**. Rio de Janeiro. 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS BRASILEIRAS. NBR 14039: **Instalações elétricas de média tensão de 1,0 kV a 36,2 kV**. Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <www.abnt.org.br>. Acesso em: 8 nov. 2022
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5410: **Instalações Elétricas de Baixa Tensão**. Rio de Janeiro, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5419: **Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas**. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5356: **Transformador de potência: especificação**. Rio de Janeiro, 1993.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7117: “Medição da resistividade e determinação da estratificação do solo”**, norma técnica. Agosto, 2012.
- BELLEZA, K. C. **Procedimentos e testes de manutenção elétrica em subestações abrigadas de 13,8 kV**. (Trabalho de conclusão de curso)—Manaus: Universidade Federal de Amazonas, 2021.
- CNC-OMBR-MAT-18-0095-EDCE. **Especificação Técnica de Materiais no. 95. Assunto: Para-Raios de Óxido de Zinco**. Rio de Janeiro, 2018.
- CNC-OMBR-MAT-18-0125-EDCE. **Especificação Técnica no. 125: Assunto: Fornecimento de energia elétrica em tensão primária de distribuição**. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <<https://www.eneldistribuicao.com.br/ce>>. Acesso em: 12 dez. 2022
- CNC-OMBR-MAT-18-0135-EDBR. **Especificação Técnico.135 Assunto: Rede de Distribuição Aérea de Média Tensão**. Rio de Janeiro, 2018.
- CNC-OMBR-MAT-20-0942-EDBR. **Especificação Técnica no. 942: Assunto: Fornecimento de energia elétrica em tensão primária de distribuição até 34,5 kV**. Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <<https://www.eneldistribuicao.com.br/ce>>. Acesso em: 4 dez. 2022
- FILHO, J. M. **Manual de equipamento elétricos**. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2005.
- FILHO, J. M. **Subestação de alta tensão**. 1. ed. Rio de Janeiro: GEN, 2021.
- MACHADO, R. **Projeto de ampliação da subestação do IFBA - Campos de Paulo Afonso**. (Trabalho de conclusão de curso)—Bahia: IFBA, 2007.

MENDES, D. C. V. P. **Subestações: Guia de projeto e estudo de caso.** (trabalho de conclusão de curso)—Fortaleza: Universidade Federal do Ceara , 2018.

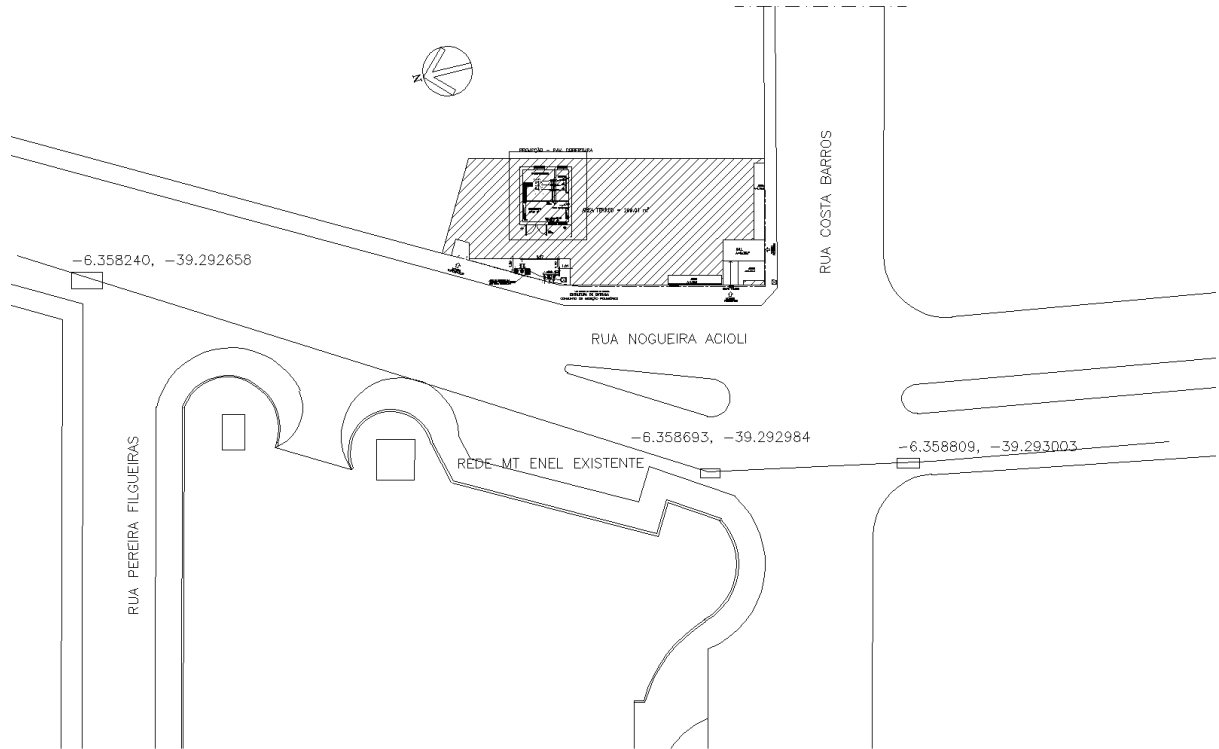
SILVA, M. J. R. DA. **Projeto elétrico básico de uma subestação industrial típica na classe 15 kV.** (trabalho de conclusão de curso)—Guaratinguetá: Universidade Estadual Paulista, 2013.

SILVA, Rafael Schincariol da. **Sistemas elétricos de potência I.** londrina, PR: Editora e Distribuidora Educacional AS, 2019.

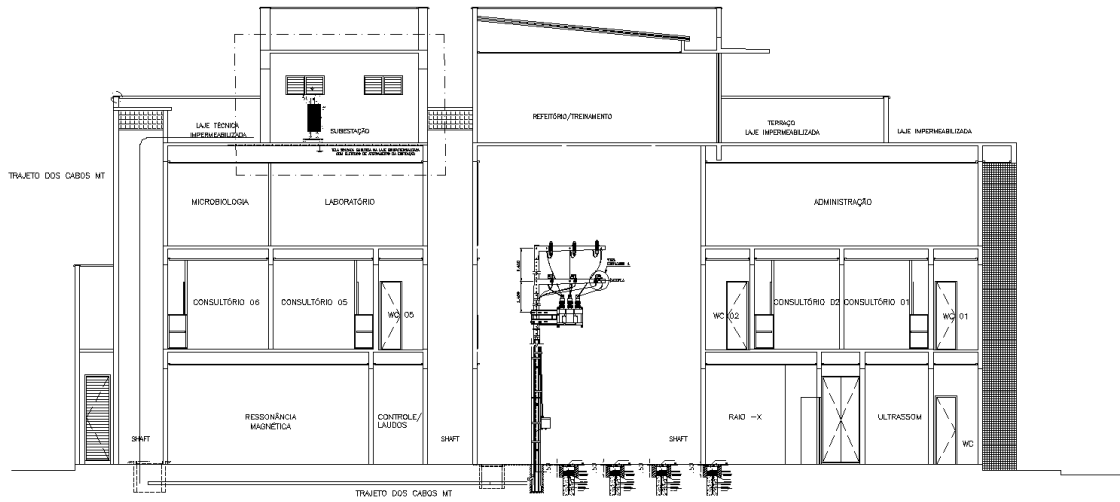
SOUSA, F. DE. **Estudo e projeto elétrico básico de uma subestação.** (Trabalho de conclusão de curso)—Vitória - ES: Universidade Federal Do Espírito Santo , 2007.

ANEXOS

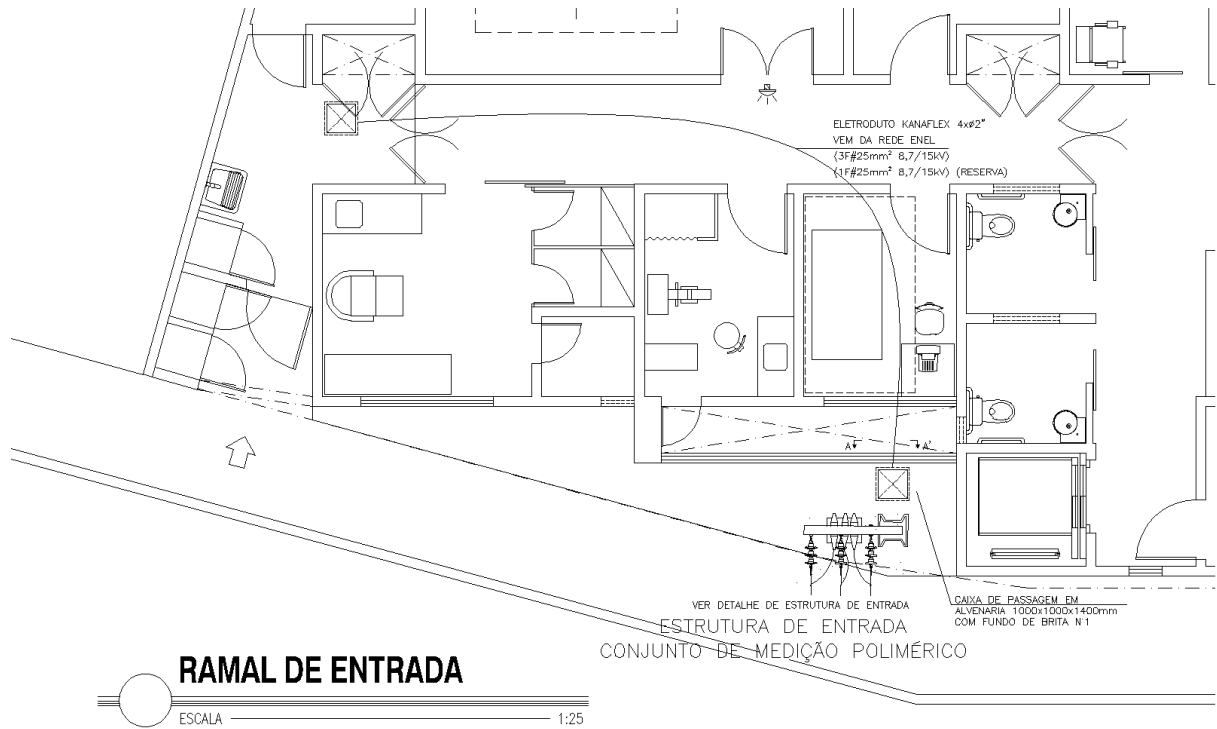
ANEXO A – PLANTA BAIXA - SITUAÇÃO



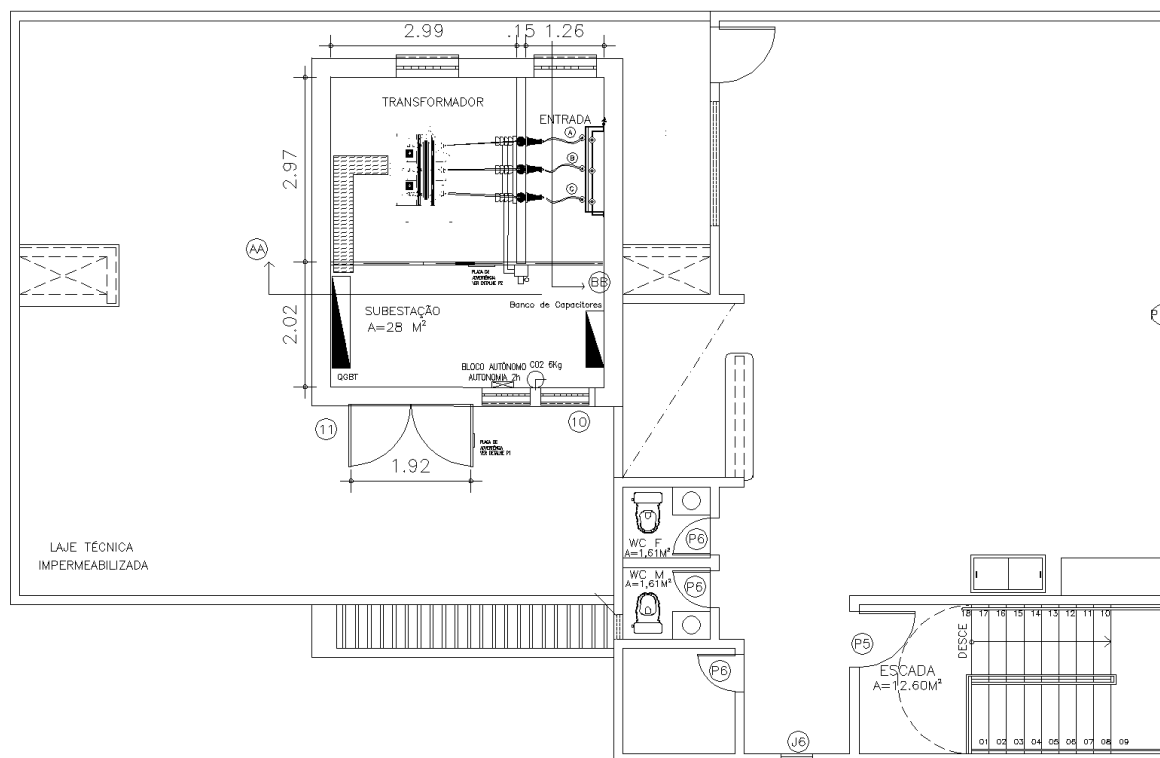
ANEXO B – PLANTA BAIXA - FACHADA



ANEXO C – PLANTA BAIXA – RAMAL DE ENTRADA

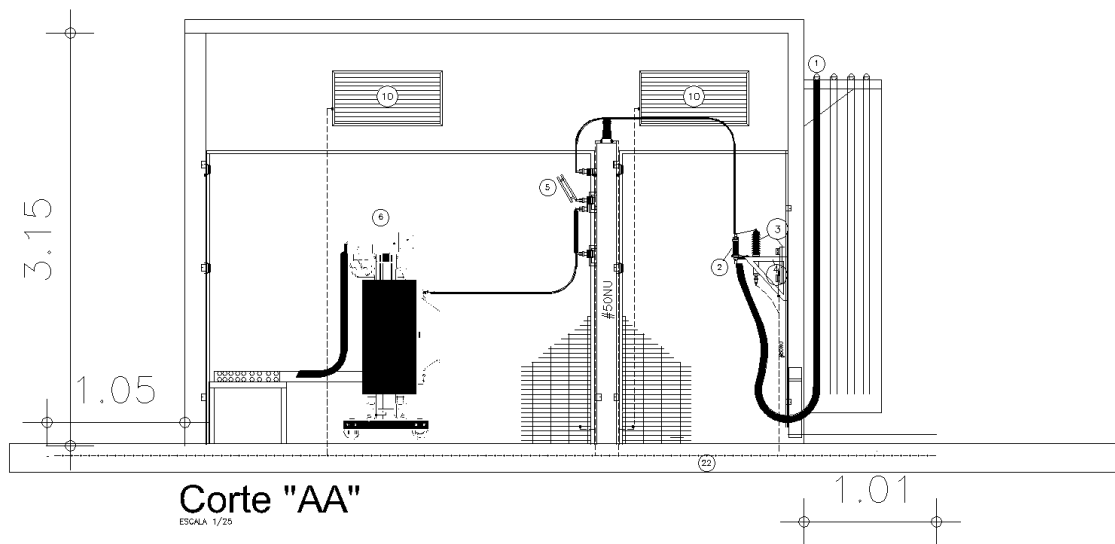


ANEXO D – PLANTA BAIXA - SUBESTAÇÃO

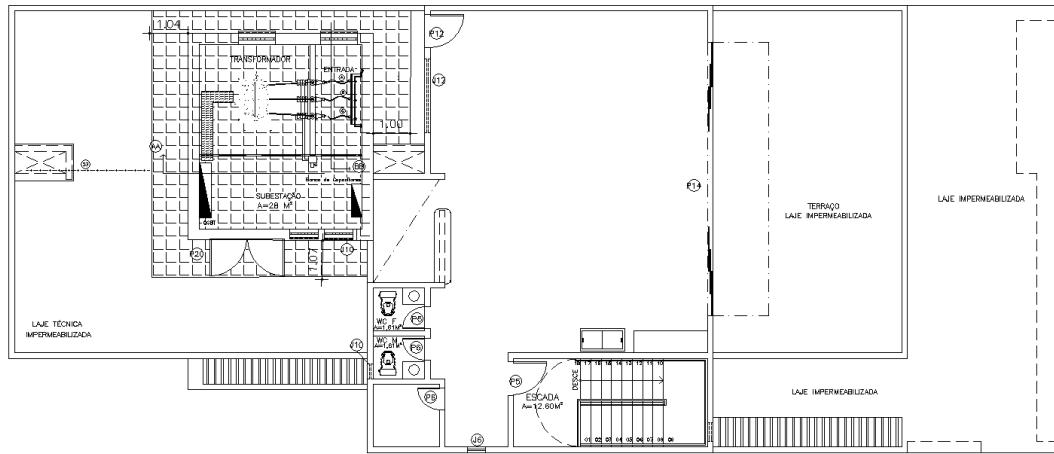


PLANTA BAIXA -SUBESTAÇÃO
 ESCALA 1:25

ANEXO E – PLANTA BAIXA – CUBÍCULO MT

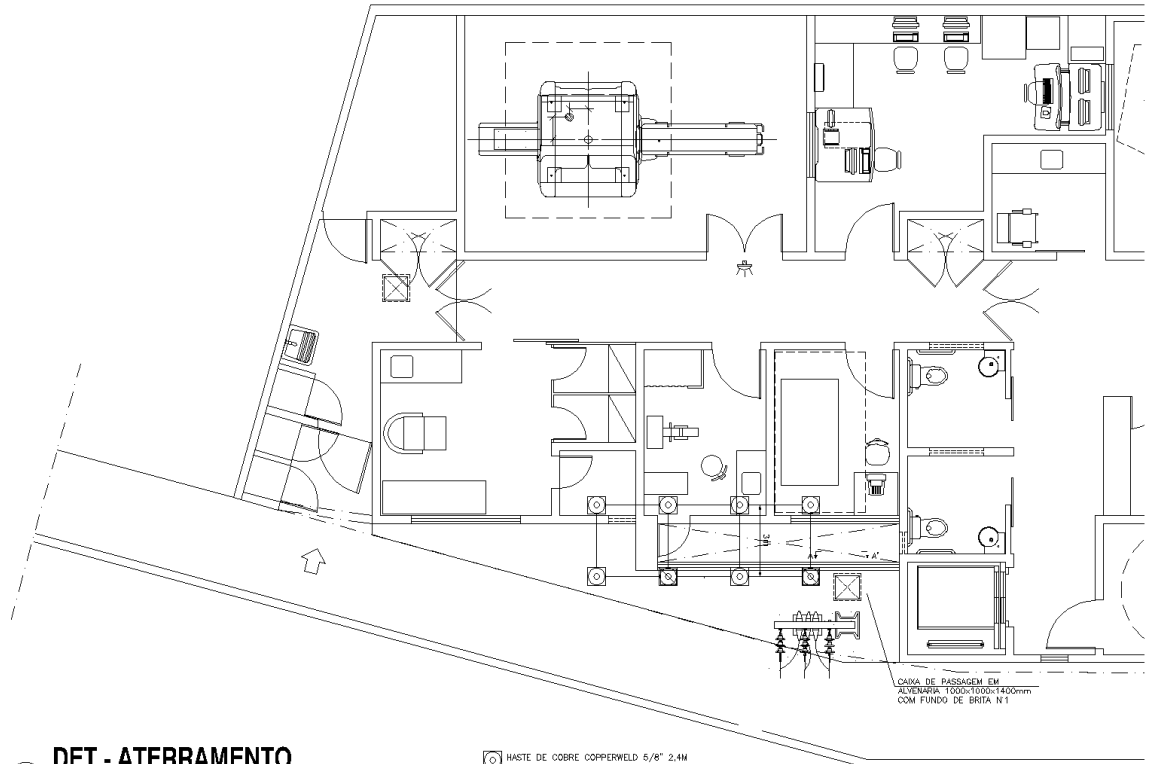


ANEXO F – PLANTA BAIXA – ATERRAMENTO EQUIPONTENCIALIZADO



PLANTA BAIXA -ATERRAMENTO
ESCALA 1:25

ANEXO G – PLANTA BAIXA – MALHA DE ATERRAMENTO



DET - ATERRAMENTO

ESCALA

1:25

○ HASTE DE COBRE COPPERWELD 5/8" 2,4M

⊗ HASTE DE COBRE COPPERWELD 5/8" 2,4M COM CAIXA DE INSPEÇÃO - VER DETALHE

