

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Gleyciele Barros Vargas Furtado

**ESTUDO DE CASO DO ATERRAMENTO ELÉTRICO DE UM PRÉDIO
MISTO COM SUBESTAÇÃO ABRIGADA– SANTA MARIA - RS**

Santa Maria, RS
2021

Gleyciele Barros Vargas Furtado

**ESTUDO DE CASO DO ATERRAMENTO ELÉTRICO DE UM PRÉDIO MISTO
COM SUBESTAÇÃO ABRIGADA – SANTA MARIA - RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica
da UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA
MARIA como requisito parcial para obtenção
do grau de **Engenheira Eletricista**.

Orientadora: Prof^a.Dr^a. Luciane Neves Canha

Santa Maria, RS
2021

Gleyciele Barros Vargas Furtado

**ESTUDO DE CASO DO ATERRAMENTO ELÉTRICO DE UM PRÉDIO MISTO
COM SUBESTAÇÃO ABRIGADA – SANTA MARIA - RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA como requisito parcial para obtenção do grau de **Engenheira Eletricista**.

Aprovado em 1 de setembro de 2021:

**Luciane Neves Canha, Prof^ª.Dr^ª (UFSM)
(Presidente/Orientador)**

Emanuel Antunes Vieira, Me. (UFSM)

Luydi Kunzler Botezeli, Eng.

Santa Maria, RS
2021

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha mãe, Daniele Barros, que sempre me apoiou nos estudos e me incentivou a seguir os meus sonhos, me proporcionou uma ótima base de educação e teve confiança no meu potencial, sem você nada disso seria possível.

Agradeço à UFSM, por me proporcionar uma educação pública de qualidade e ferramentas para facilitar o aprendizado, com professores qualificados e uma ótima estrutura.

Agradeço à minha noiva, Alessandra Souza, por estar comigo desde o primeiro dia de faculdade e tão intensamente durante o estágio, ouvindo minhas preocupações e alegrias, sempre me ajudando na rotina diária, que nunca foi fácil.

Agradeço aos meus avós, Eliana e Valdir, que de tão longe sempre me apoiaram e foram presentes durante a trajetória do curso, compreensíveis com a minha ausência.

Agradeço aos amigos próximos, muitos participaram na trajetória da faculdade, colegas de turma, colegas de estágio, pessoas com quem pude compartilhar momentos importantes e apreensivos, sempre dispostos a ajudar. Em especial, gostaria de citar Victória, Pablo, Joana, Pandara e Anderson, amigos que desde o início desta jornada estiveram presentes.

Agradeço aos professores da UFSM, muitos de vocês sempre foram dispostos e incansáveis para ajudar os alunos, sempre se disponibilizando a sanar dúvidas e realizar pesquisas, isso nos incentiva a seguir em frente dentro de um curso nada fácil.

Agradeço ao colega de curso, companheiro de estudos na reta final, Vinícius Pezerico, engenheiro já formado, me emprestou o terrômetro para que eu pudesse realizar a medição da resistividade do solo.

Agradeço a Construtora Jobim e o Engenheiro Fernando Dotto, que possibilitaram o estudo deste trabalho, dando acesso as plantas do projeto e permitindo a entrada na obra, para que pudesse realizar as medições. Para um estudante em finalização de curso, experiências como essa, se tornam motivação para seguir em frente.

E por fim, e não menos importante, agradeço ao meu pai, por ter me dito não tantas vezes e ter desacreditado da minha capacidade de ser engenheira, essa vitória prova o contrário. A dificuldade que foi posta em meu caminho me ajudou a crescer, e hoje, tudo que tenho, é graças ao meu esforço e das pessoas que estão comigo.

*“Sempre fiquei quieta, agora vou falar
Se você tem boca, aprenda a usar
Sei do meu valor e a cotação é dólar
Porque a vida é louca, mano
A vida é louca
Me perdi pelo caminho
Mas não paro não
Já chorei mares e rios
Mas não afogo não
Sempre dou o meu jeitinho
É bruto, mas é com carinho
Porque Deus me fez assim
Dona de mim”
(Iza, Dona de Mim)*

RESUMO

ESTUDO DE CASO DO ATERRAMENTO ELÉTRICO DE UM PRÉDIO MISTO COM SUBESTAÇÃO ABRIGADA – SANTA MARIA - RS

AUTORA: Gleyciele Barros Vargas Furtado

ORIENTADORA: Luciane Neves Canha

Este trabalho apresenta um estudo sobre o aterramento elétrico de um prédio misto com subestação abrigada na cidade de Santa Maria, Rio Grande do Sul. O prédio em questão é composto por 196 unidades consumidoras individuais residenciais e uma unidade comercial, sendo uma entrada de serviço composta por duas entradas de energia, uma em baixa tensão e uma em média tensão. Na revisão bibliográfica são apresentados os tipos de subestações regulamentadas pela norma da região, assim como os tipos de aterramentos que podem ser instalados na entrada de serviço. O trabalho apresenta no seu desenvolvimento os cálculos de carga instalada e demanda da edificação, bem como o dimensionamento da entrada de serviço. São apresentados também os cálculos para a determinação da potência do transformador da unidade comercial, assim como o modelo do posto de transformação utilizado nesta instalação, com todos os requisitos exigidos pela norma da região. Por fim, no desenvolvimento, é apresentado o projeto do sistema de aterramento para a subestação do prédio, interligado as fundações da edificação. Este projeto foi desenvolvido com a medição da resistividade do solo, cálculo da seção do condutor da malha, dimensionamento da malha, cálculo da resistência de aterramento da malha e verificação do potencial máximo na malha. Foi possível concluir que neste estudo de caso a resistividade do solo era baixa, sendo possível realizar a malha de aterramento com apenas 6 hastes de 2,4m e área total de aproximadamente 20,45m².

Palavras-chave: Subestação, posto de transformação, aterramento elétrico, entrada de energia, carga instalada, demanda.

ABSTRACT

CASE STUDY OF THE ELECTRICAL GROUNDING OF A MIXED BUILDING WITH A SHELTERED SUBSTATION – SANTA MARIA - RS

AUTHOR: Gleyciele Barros Vargas Furtado

ADVISOR: Luciane Neves Canha

This paper presents a study on the electrical grounding of a building with a sheltered substation in the city of Santa Maria, RS. The building in question is composed of 196 individual residential units and a commercial unit, with a service entrance consisting of two energy inputs, one in low voltage and one in medium voltage. In the literature review, the types of substations allowed by regulation in the region are listed in the biographical review, as well as the types of grounding that can be installed at the service entrance. The paper presents in its body the installed load calculations and the building demand, as well as the dimensioning of the service entrance. The calculations to determine the power of the commercial unit's transformer are also presented, as well as the model of the transformer station used in this installation, with all the requirements demanded by the norms of the region. Finally, in the body, the design of the grounding system for the building's substation is presented, interconnected to the building's foundations. This project was developed with a soil resistivity measurement, grid conductor section calculation, grid sizing, grid ground resistance calculation, and maximum grid potential check. It was possible to conclude that in this case study the soil resistivity was low, being possible to carry out a grounding mesh with only 6 rods of 7,87ft and total area of approximately 220,12ft.

Keywords: Substation, transformer station, electrical grounding, energy input, installed load, demand.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Simbologia dos condutores	19
Figura 2– Esquema TN-S	20
Figura 3 – Esquema TN-C-S	20
Figura 4– Esquema TN-C.....	20
Figura 5– Esquema TT	21
Figura 6– Esquema IT sem aterramento da alimentação.....	21
Figura 7– Esquema IT com alimentação aterrada através de impedância.....	21
Figura 8– Esquema IT com massas aterradas em eletrodos separados e independentes do eletrodo de aterramento da alimentação.	22
Figura 9– Esquema IT com massas aterradas juntas em eletrodo independente do eletrodo de aterramento da alimentação.	22
Figura 10– Esquema IT com massas aterradas no mesmo eletrodo da alimentação.....	22
Figura 11– Possibilidades de instalação de DPS na entrada da linha da edificação.	25
Figura 12– Instalação de DPS para consumidor individual monofásico, bifásico ou trifásico	26
Figura 13– Fluxograma do projeto do aterramento elétrico	27
Figura 14– Cabine em alvenaria, medição em baixa tensão e entrada subterrânea – perfil.....	36
Figura 15– Cabine em alvenaria, medição em baixa tensão e entrada subterrânea – vista superior	37
Figura 16– Detalhamento entrada de energia subterrânea em média tensão.....	37
Figura 17– Projeto do posto de transformação junto a edificação deste estudo.....	38
Figura 18– Medição da resistência do solo	41
Figura 19– Utilização do terrômetro para medição de resistência do solo.....	42
Figura 20– Exemplo de aterramento elétrico de posto de transformação abrigado	45
Figura 21– Malha de aterramento com ligação nas estruturas dos pilares como eletrodos.....	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Carga instalada individual dos apartamentos	29
Tabela 2- carga instalada da área comercial	31
Tabela 3- Motores trifásicos comercial	34
Tabela 4- Distância entre eletrodos e resistência medida	41

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	OBJETIVO	12
1.1.1	Objetivo geral	12
1.1.2	Objetivos específicos	12
1.2	MOTIVAÇÃO	12
1.3	JUSTIFICATIVA	13
1.4	CAPÍTULOS	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1	POSTO DE TRANSFORMAÇÃO E MEDIÇÃO.....	16
2.1.1	Posto com transformador ao tempo e medição em tensão secundária	16
2.1.2	Posto com transformador ao tempo e medição em tensão primária	16
2.1.3	Posto com transformador e medição em tensão secundária abrigada	17
2.1.4	Posto com transformador e medição em tensão primária abrigada	17
2.1.5	Posto apenas com medição e proteção geral em tensão primária abrigada 17	
2.2	TIPOS DE ATERRAMENTO	18
2.2.1	Esquema TN.....	19
2.2.2	Esquema TT	20
2.2.3	Esquema IT	21
3	METODOLOGIA	27
4	DESENVOLVIMENTO PRÁTICO	28
4.1	DETERMINAÇÃO DA ENTRADA DE SERVIÇO	28
4.1.1	Carga instalada e demanda residencial	29
4.1.2	Carga instalada e demanda comercial	31
4.1.3	Ramal de Entrada	33
4.2	DETERMINAÇÃO DOS TRANSFORMADORES	34
4.3	MODELO DO POSTO DE TRANSFORMAÇÃO	35
4.4	PROJETO DO ATERRAMENTO ELÉTRICO	39
4.4.1	Resistividade aparente do solo	40
4.4.2	Condutor da malha e cabo de ligação	42
4.4.3	Dimensionamento da malha	44
4.4.4	Resistência de aterramento da malha	46
4.4.5	Verificação do potencial máximo na malha	47
5	ANÁLISE DE RESULTADOS	49
6	CONCLUSÃO	51

1 INTRODUÇÃO

A geração de energia elétrica no Brasil hoje é predominantemente de usinas hidrelétricas, sendo um dos países com maior índice de produção de energia limpa do mundo. Com uma demanda energética cada vez maior nos setores residenciais, comerciais e industriais, tornou-se necessário um aumento da produção de energia elétrica para atender essa demanda. Para regulamentar o sistema elétrico brasileiro, foi criada em 1997 a ANEEL, tendo como principais atribuições: regular a geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica; fiscalizar as concessões, permissões e os serviços de energia elétrica; implementar políticas e diretrizes do governo federal; estabelecer tarifas; diminuir as divergências entre os agentes e entre esses agentes e consumidores; e promover as atividades de outorgas de concessão (ANEEL, 2021). A energia elétrica após ser produzida em usinas hidrelétricas, usinas termoelétricas, usinas eólicas, entre outras, passa pelas torres e linhas de transmissão até chegar nas subestações de distribuição. Nas subestações próximas as cidades, ocorre o processo de redução do nível de tensão para a distribuição dentro das cidades. Por fim, nas redes de distribuição, estão presentes os transformadores que reduzem a nível de 127/220V a tensão que alimenta as residências, comércio e indústrias em baixa tensão.

Existem situações em que determinada instalação elétrica exige um valor muito alto de demanda, não podendo ser atendida por uma entrada de serviço em baixa tensão. Segundo Mamede (2021, p. 133),

As subestações de média tensão são aquelas que se aplicam a pequenos e médios empreendimentos industriais, comerciais e residenciais cuja demanda máxima contratada não supere o valor exigido pela legislação, cujo limite é de 2500 kW, ficando a critério da concessionária o atendimento a consumidores com demanda acima desse limite quando a mesma entender que seu sistema de distribuição atende à carga sem prejuízo para os demais consumidores.

Sendo assim, se torna necessário o atendimento em média tensão, sendo indispensável à instalação de uma subestação particular para reduzir o nível de tensão de média para baixa, a fim de realizar a distribuição da energia para o uso dos aparelhos, seja com uso residencial, comercial ou industrial.

Dessa forma, as instalações que precisam ser atendidas em tensão primária, deverão dispor de posto de transformação, que deve ser projetado e executado pelo cliente. Sendo assim, faz-se necessário o aterramento do posto de medição e transformação para garantir a proteção da instalação elétrica em geral contra possíveis surtos de tensão, fuga de corrente, entre outras possibilidades, afim de não ser possível uma sobrecarga a instalação e aos equipamentos, além

do risco de choque elétrico. Como este estudo de caso trata-se de um prédio de uso coletivo na região de Santa Maria no Rio Grande do Sul, serão levadas em consideração as normas técnicas da concessionária que atende essa região, a CPFL Energia – RGE Sul.

De acordo com a norma técnica da CPFL Energia – GED 119 (2020, p. 32),

6.7.2.3- Sobretensão Temporária

Sobretensão temporária é causada por situações eventuais como falta de fase ou perda do neutro na instalação ou parte dela. A sua proteção é garantida pelas prescrições do item 6.8 (Sistema de Aterramento), através do aterramento do PEN na entrada da instalação e da equipotencialização de todos os elementos metálicos no aterramento. Em atenção à NBR-5410, caso o consumidor julgue imprescindível alguma proteção complementar contra sobretensões, a instalação dos equipamentos de proteção deve localizar-se junto às cargas.

O sistema de aterramento compõe-se por várias partes, desde a entrada de serviço da unidade consumidora até a instalação interna, onde se tem a presença do condutor de proteção. Pode-se então apresentar partes importantes das normas técnicas CPFL Energia que falam da obrigatoriedade do aterramento.

De acordo com a norma técnica da CPFL Energia – GED 13 (2020, p. 28),

6.16 Aterramento

A entrada consumidora deverá possuir um ponto de aterramento destinado ao condutor neutro do ramal de entrada e da caixa de medição quando for metálica.

Nas instalações onde o condutor de proteção PE possui comprimento suficiente somente até o quadro de distribuição interna do cliente, o barramento de proteção deverá ser interligado com o barramento/conector de neutro (Sistema PEN conforme ABNT NBR 5410).

O condutor de proteção PE, destinado à proteção da instalação interna do cliente, poderá ser interligado à haste de aterramento da entrada consumidora no ponto de conexão neutro / terra, no interior da caixa de proteção (Sistema PE, conforme NBR 5410).

De acordo com a norma técnica da CPFL Energia – GED 2855 (2020, p. 42),

6.6.1- Aterramento do Posto de Medição e Transformação

6.6.1.1- Os sistemas de aterramento para os postos de medição e transformação, devem ser feitos sob os postos, conforme os desenhos 20, 21 e 22, sendo necessário além do apresentado em desenho, a instalação de um anel circundando o perímetro da edificação, atendendo no mínimo o disposto na NBR-14039, interligado ao sistema de aterramento citado e afastado de aproximadamente 1,00 metro do perímetro, a no mínimo 60cm de profundidade, podendo haver extensões para fora das áreas indicadas, para atingir os valores mínimos exigidos. Outras configurações serão admitidas desde que seja apresentado projeto completo, inclusive os cálculos de tensão de passo, de toque, de transferência, atendendo no mínimo as prescrições de segurança das pessoas e funcionais da instalação, conforme disposto na NBR-14039.

Posto isto, pode-se afirmar que o aterramento da instalação elétrica se torna necessário e obrigatório, sendo indispensável para a segurança da instalação.

1.1 OBJETIVO

1.1.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como principal objetivo o estudo de caso do aterramento elétrico da subestação abrigada de um prédio de uso coletivo comercial e residencial, visando analisar todos os aspectos que devem ser levados em conta para realizar este projeto.

1.1.2 Objetivos específicos

- Levantamento da obra que será utilizada como base no trabalho;
- Estudo do posto de transformação que se adequa a necessidade do prédio, de acordo com as normas técnicas da concessionária que atende a região;
- Estudo dos tipos de aterramento existentes de acordo com a NBR 5410 e escolha de um deles para o caso específico;
- Levantamento da carga instalada e demanda total da instalação;
- Determinação da entrada de serviço de acordo com as normas técnicas da concessionária que atende a região;
- Determinação da potência do transformador que deve atender a unidade comercial do prédio;
- Estudo e dimensionamento do aterramento elétrico da subestação abrigada utilizada no desenvolvimento prático.

1.2 MOTIVAÇÃO

No decorrer da graduação em engenharia elétrica na Universidade Federal de Santa Maria, tive grande interesse na área de instalações elétricas residenciais e prediais, tendo aprofundado meu estudo em estágios nessa área. A área de instalações elétricas prediais traz com ela muitas particularidades de cada caso, sendo necessário também em alguns casos o estudo do projeto de subestações, para atender determinada demanda. Como o curso abrange diversas áreas como telecomunicações, eletrônica, sistemas de potência, automação industrial, entre outras, o estudo do aterramento das instalações elétricas não é muito aprofundado, em função do tempo para dar atenção a todas as necessidades que o curso exige. Porém o projeto

do aterramento da subestação e toda a instalação elétrica é indispensável, tornando-se uma motivação para a construção deste trabalho, visando um melhor aprendizado que ajudará na vida profissional. Este trabalho também tem motivação por ter como objetivo a conclusão do curso em Engenharia Elétrica.

1.3 JUSTIFICATIVA

Como dito anteriormente, o aterramento elétrico é indispensável para a segurança e funcionamento correto de toda a instalação elétrica. Além da importância do projeto e estudo do aterramento elétrico para subestações e instalações elétricas de modo geral, o trabalho irá agregar para a formação profissional, por abranger muitos conceitos e dimensionamentos aprendidos durante o mesmo, podendo estes ser colocados em prática.

1.4 CAPÍTULOS

Este trabalho é composto por 7 capítulos, que se fazem importantes para a construção de todo o projeto e dimensionamento do aterramento elétrico da subestação em questão. No capítulo 1 tem-se a introdução que traz toda a fundamentação sobre a importância do aterramento elétrico nas instalações elétricas, com citações de normas técnicas e autores, além dos objetivos do trabalho, justificativa e esta seção, que apresenta a descrição dos conteúdos de cada capítulo. No capítulo 2 tem-se a revisão bibliográfica com o estudo dos tipos de subestações presente na norma técnica CPFL Energia, concessionária que atende a região do prédio em questão, e o estudo dos tipos de aterramento presente na norma NBR 5410. No capítulo 3 é apresentada a metodologia utilizada neste trabalho. No capítulo 4 é apresentado todo o desenvolvimento prático do projeto de aterramento da subestação, iniciando com o dimensionamento da entrada de serviço, dimensionamento do transformador da unidade comercial e o modelo do posto de transformação. Projeto do aterramento elétrico de acordo com as normas técnicas da região, bem como todos os cálculos necessários para isso. No capítulo 5 tem-se as análises de resultados. No capítulo 6 é apresentada a conclusão do trabalho. No capítulo 7 tem-se as referências utilizadas neste trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O presente trabalho trata-se de um estudo de caso do aterramento de um prédio com uma subestação abrigada. O prédio em questão possui 13 pavimentos, dos quais: no pavimento térreo e segundo pavimento será uma faculdade particular; do 3º ao 9º pavimento, unidades consumidoras residenciais, sendo 28 apartamentos por andar; subsolo 1, garagem da faculdade particular; e subsolo 2 e subsolo 3, garagem do residencial. É chamada de unidade consumidora a instalação de um único cliente caracterizada pela entrega de energia em um único ponto, com medição individualizada. Outro conceito relevante é o de entrada de serviço, que é o conjunto de equipamentos, condutores e acessórios instalados a partir do ponto de conexão na rede da CPFL até a medição, sendo composta pelo ramal de ligação e pelo ramal de entrada. Já o ramal de entrada compreende-se pelos condutores e acessórios, instalados pelo cliente, compreendidos entre o ponto de entrega e medição. Pode-se dizer então que haverá uma entrada de serviço com 2 ramais de entrada, sendo um para a unidade consumidora residencial e um para a unidade consumidora comercial. Dentro do residencial, tem-se 196 unidades consumidoras individuais, sendo todas de categoria A4 segundo a tabela 1b do GED 13, pois serão todas monofásicas. Ainda, a unidade consumidora comercial é apenas uma, a faculdade particular.

Sendo assim, torna-se necessário realizar o projeto de entrada de serviço do prédio, visando atender todas as unidades consumidoras de forma regulamentar. Para isso, o prédio deve contar com duas entradas de energia, uma em baixa tensão e uma em média tensão (devido a sua alta demanda).

De acordo com a norma técnica da CPFL Energia – GED 2855 (2020, p. 9),

6.1.1- O fornecimento de energia elétrica deve ser feito em tensão primária de distribuição (15kV, 25kV ou 34,5kV), a partir da rede da via pública, quando a carga instalada da unidade consumidora superior a 75kW e a demanda a ser contratada pelo interessado, para o fornecimento, for igual ou inferior a 2500kW, ou que se enquadre nas exceções dispostas no artigo 13 da Resolução da ANEEL nº 414 de 09 de Setembro de 2010, abaixo transcritas:

I – a unidade consumidora, com carga acima de 50 kW, tiver equipamento que, pelas características de funcionamento ou potência, possa prejudicar a qualidade do fornecimento a outros consumidores;

II – houver conveniência técnica e econômica para o subsistema elétrico da distribuidora, desde que haja anuência do interessado; ou

III – a unidade consumidora for atendível, em princípio, em tensão primária de distribuição, mas situar-se em edificação de múltiplas unidades consumidoras predominantemente passíveis de inclusão no critério de fornecimento em tensão secundária de distribuição, desde que haja solicitação ou anuência do interessado.

IV - o interessado optar por tensão diferente das estabelecidas nesta norma e de acordo com a classificação de tensão de fornecimento do artigo 12 da Resolução da ANEEL nº 414 de 09 de Setembro de 2010, desde que haja viabilidade técnica.

No caso do projeto desenvolvido nesse TCC, é possível realizar o atendimento em baixa tensão para a entrada residencial pois os consumidores individuais desta unidade têm carga instalada inferior à 75kW e demanda total residencial inferior à 300kVA, os cálculos serão apresentados neste trabalho no capítulo 4. Segundo a norma técnica da CPFL Energia – GED 2855 (2021, p. 13),

6.3.1

f) Edifícios comerciais ou mistos com Demanda Calculada maior que 225kVA até 300kVA: neste caso o atendimento será através de ramal de entrada subterrâneo à partir de poste da CPFL, conforme disposto no item 6.3.2.

g) Edifícios comerciais ou mistos com Demanda Calculada superior a 300kVA: neste caso o projetista particular deverá solicitar atendimento através de ramal de ligação subterrâneo em tensão primária e atender as diretrizes do item 6.3.3.

h) Edifícios de uso coletivo para atendimento a clientes em baixa tensão em que haja uma ou mais unidades de consumo com carga instalada acima de 75kW, esta(s) recebe(m) em tensão primária através de ramal de entrada subterrâneo e as demais em tensão secundária. Neste caso haverá uma segunda entrada em média tensão, sendo que os circuitos internos da instalação deverão ser independentes e deverá ser preenchido pelo responsável técnico e proprietário das instalações “Termo de Responsabilidade Consumidor do Grupo A”, constante do documento CPFL nº 6120. O edifício será atendido por no máximo 2 ramais de entrada em pontos distintos e isolados elétrica e fisicamente, sendo um em tensão primária para atendimento a cliente(s) em média tensão e outra em tensão secundária para atendimento a cliente(s) em baixa tensão. Devem tais entradas estarem situadas no mesmo logradouro em postes contíguos.

Para realizar o atendimento em média tensão para uma ou mais unidades consumidoras, é obrigatório e necessário a construção de um posto de transformação, também chamado de subestação, que é responsável pela redução da tensão de média para baixa, afim de atender as instalações elétricas das unidades consumidoras. Conforme Carleto (2017, p.1), “Subestação pode ser definida como um conjunto de equipamentos interligados com o objetivo de controlar o fluxo de energia, alterar os níveis de tensão e corrente elétrica, bem como fornecer proteção e comando ao SEP”. Neste caso, pode-se dizer que a subestação particular será do tipo “subestação de consumidor”, classificação dada pelo autor Mamede, como citado a seguir.

É aquela construída em propriedade particular suprida através de alimentadores de distribuição primários, originados das subestações de subtransmissão e que suprem os pontos finais de consumo. As subestações de consumidor podem ser do tipo industrial, quando implantada dentro de uma instalação industrial, comercial, quando implantada em empreendimentos comerciais, tais como shopping center, edifícios para escritórios etc., e residencial, quando instaladas em edificações para uso de moradia. (MAMEDE, 2021, p.8)

O projeto e execução do posto de transformação são de responsabilidade do cliente, segundo a norma técnica da CPFL Energia – GED 119 (2020, p.25),

6.5.1- Condições Específicas

Em caso de construção de posto transformação, o mesmo deve ser executado pelo cliente, em local de fácil acesso, com condições adequadas de iluminação, ventilação e segurança, destinada à instalação de equipamentos de transformação e outros dispositivos (chaves, portafusíveis, equipamentos de operação e proteção, etc.). Para dimensionamento da área/espço destinado a alojar o(s) transformador(es) da concessionária, adotar a potência do equipamento igual à demanda em kVA de projeto para atendimento às unidades consumidoras com carga instalada inferiores ou igual a 75kW, cujo cálculo é de inteira responsabilidade do projetista, ou seja, o transformador previsto deve ser considerado para atender a própria demanda calculada.

De acordo com a norma técnica CPFL Energia GED 2855, tem-se 5 modelos de posto de transformação e medição base para a aplicação nas instalações elétricas.

2.1 POSTO DE TRANSFORMAÇÃO E MEDIÇÃO

O posto de transformação, medição e proteção geral pode ser instalado em um local isolado da instalação que irá atender e fazer parte de outra edificação na mesma propriedade ou fazer parte da própria edificação que irá atender, podendo ser ao tempo, abrigado ou blindado. Em qualquer dos casos, a subestação deve ter fácil acesso, seja para pessoas como para a substituição de algum equipamento. Quando o posto de transformação fizer parte integrante da edificação, o transformador empregado precisa ser a seco, em qualquer situação. De acordo com o GED 2855 existem 5 tipos de posto de transformação, cada um com a sua particularidade.

2.1.1 Posto com transformador ao tempo e medição em tensão secundária

O posto com transformador ao tempo tem o transformador instalado em poste ou plataforma, locados na propriedade do interessado, podendo o transformador ser de até 300kVA. Os postes utilizados devem ser de concreto e circulares, com comprimento e resistência nominal conforme indicado no GED 2855. O poste ou plataforma deve ser instalado a uma distância entre 1,5m e 3m da divisa da propriedade com a via pública, sendo que a projeção vertical dos transformadores e acessórios que o acompanham, bem como a malha de aterramento, deve restringir-se aos limites da propriedade particular.

2.1.2 Posto com transformador ao tempo e medição em tensão primária

O posto com transformador ao tempo e medição em tensão primária deve ser construído a um limite com a via pública entre 1,5m e 3m, com acesso independente. É permitida a instalação em subestação no solo, em cubículo blindado, com medição em média tensão e

proteção através de disjuntor geral, desde que não seja em local público, e o transformador ou cubículo seja locado sobre base de concreto devidamente dimensionada para seu peso (GED 2855). Deve ser delimitado por meio de cerca com arame zincado um espaço ao redor dos transformadores, o portão de acesso deve ser metálico ou de tele metálica e deve abrir para fora, deve possuir sistema de drenagem adequado, entre outras particularidades cabíveis a esse tipo de instalação. Além disso, como no posto anterior, a projeção vertical dos transformadores e acessórios que o acompanham, bem como a malha de aterramento, deve restringir-se aos limites da propriedade particular.

2.1.3 Posto com transformador e medição em tensão secundária abrigada

Neste tipo de posto, os equipamentos devem ser instalados em compartimento ou edificação tipo cabine, para um único transformador de até 300kVA. A cabine deve ser de alvenaria ou concreto armado e deve ser construído no limite da propriedade com a via pública, entre 1,5m e 3m afastado da divisa, com acesso independente. Cabines pré-fabricadas também são aceitas, desde que atendam os itens pré-estabelecidos pela norma GED 2855.

2.1.4 Posto com transformador e medição em tensão primária abrigada

Neste tipo de posto, os equipamentos devem também ser instalados em compartimento ou edificação tipo cabine, para qualquer potência de transformação até o limite previsto pela norma GED 2855. A cabine deve ser de alvenaria ou concreto armado e deve ser construído no limite da propriedade com a via pública, entre 1,5m e 3m afastado da divisa, com acesso independente (posto com entrada subterrânea pode ser construído junto ao limite da propriedade). Cabines pré-fabricadas também são aceitas, desde que atendam os itens pré-estabelecidos pela norma GED 2855.

2.1.5 Posto apenas com medição e proteção geral em tensão primária abrigada

Neste caso, apenas a medição e a proteção estão em tensão primária e são abrigados, podendo o transformador ser instalado ao tempo. Os equipamentos de medição e proteção devem ser instalados em compartimento ou edificação tipo cabine, para qualquer potência de transformação até o limite previsto pela norma GED 2855. A cabine deve ser de alvenaria ou

concreto armado e deve ser construído no limite da propriedade com a via pública, entre 1,5m e 3m afastado da divisa, com acesso independente.

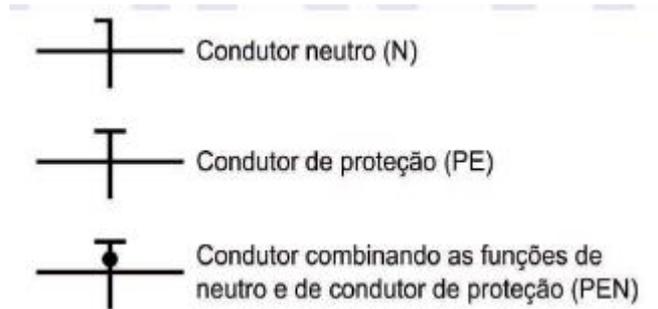
2.2 TIPOS DE ATERRAMENTO

O posto de transformação, também chamado de subestação, possui tensões e correntes elevadas, sendo um sistema elétrico complexo de alta potência, necessitando de um sistema de aterramento também complexo para manter a segurança da instalação como um todo.

Um aterramento elétrico consiste em uma ligação elétrica proposital de um sistema físico (elétrico, eletrônico ou corpos metálicos) ao solo. Este se constitui basicamente de três componentes: conexões elétricas que ligam um ponto do sistema aos eletrodos; eletrodos de aterramento (qualquer corpo metálico colocado no solo); e terra que envolve os eletrodos. (FILHO, 2002, p.11)

Como dito anteriormente, o aterramento elétrico é feito com o intuito de proteger a instalação elétrica contra possíveis surtos de tensão, fugas de corrente, entre outras possibilidades, e proteger o ser humano contra choques elétricos. Segundo Filho (2002, p.16), “..., as correspondentes aplicações estão sempre associadas a dois fatores fundamentais: desempenho do sistema ao qual o aterramento está conectado; questão de segurança (de seres vivos) e proteção (de equipamentos)”. Falando mais especificamente sobre a questão de segurança e proteção dos equipamentos, o aterramento também é presente nas unidades consumidoras individuais, por meio de um cabo na cor verde que deve ser ligado as tomadas, aparelhos e hoje em dia até mesmo nas luminárias. Em geral, em residências unifamiliares, os aterramentos são feitos por meio de 1 haste enfiada no solo com um conector para aterramento do tipo TH que faz a conexão com o cabo, sendo este levado até o quadro de distribuição. No quadro de distribuição, este cabo pode ser ligado a um barramento de terra de onde serão derivados outros cabos que serão distribuídos por toda a instalação elétrica da residência, afim de realizar a proteção dos aparelhos e da segurança contra choques. O aterramento elétrico pode ser feito de diversas maneiras, abaixo serão apresentados os esquemas de aterramento que a norma ABNT NBR 5410 traz em sua composição, sendo que algumas definições se fazem importantes quanto aos esquemas de aterramento. Com relação aos condutores neutro (N), proteção (PE) e condutor combinando as funções de neutro e proteção (PEN), tem-se a seguinte simbologia:

Figura 1– Simbologia dos condutores



Fonte: (ABNT NBR 5410, 2004, p.22).

Além disso, a primeira e a segunda letra na nomenclatura do esquema de aterramento representam a situação da alimentação em relação à terra e a situação das massas da instalação elétrica em relação à terra, respectivamente.

Primeira letra:

- T: um ponto diretamente aterrado;
- I: isolamento de todas as partes vivas em relação à terra ou aterramento de um ponto através de impedância.

Segunda letra:

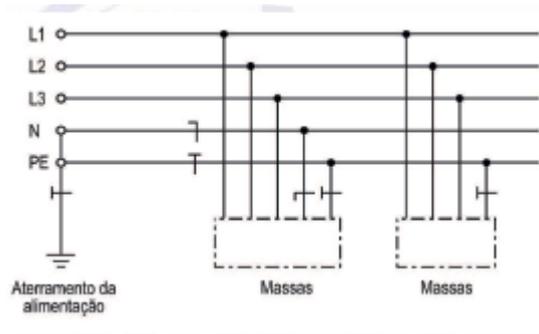
- T: massas diretamente aterradas, independentemente do aterramento eventual de um ponto da alimentação;
- N: massas ligadas ao ponto da alimentação aterrado (em corrente alternada, o ponto aterrado é normalmente o ponto neutro);
- S: funções de neutro e de proteção asseguradas por condutores distintos;
- C: funções de neutro e de proteção combinadas em um único condutor (condutor PEN).

2.2.1 Esquema TN

De acordo com as definições apresentadas anteriormente, pode-se dizer que o esquema TN possui um ponto de alimentação diretamente aterrado e que as massas são ligadas a esse ponto, através de condutores de proteção. Existem três variantes do esquema TN, de acordo com a disposição do condutor neutro e do condutor de proteção, são elas:

- a) Esquema TN-S: o condutor neutro e o condutor de proteção são distintos.

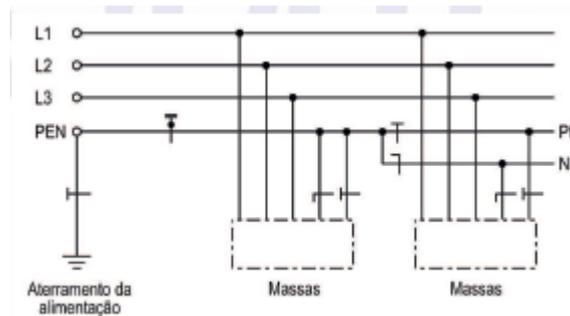
Figura 2– Esquema TN-S



Fonte: (ABNT NBR 5410, 2004, p.23).

b) Esquema TN-C-S: em parte do esquema, as funções de neutro e proteção são combinadas em um único condutor.

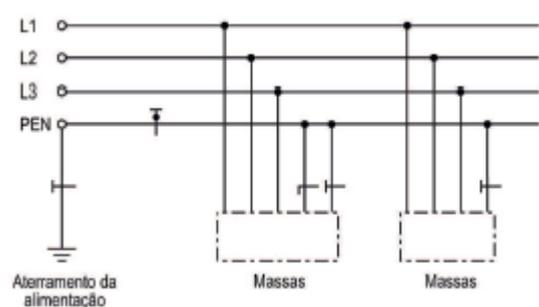
Figura 3 – Esquema TN-C-S



Fonte: (ABNT NBR 5410, 2004, p.23).

c) Esquema TN-C: as funções de neutro e proteção são combinadas em um único condutor na totalidade do esquema.

Figura 4– Esquema TN-C



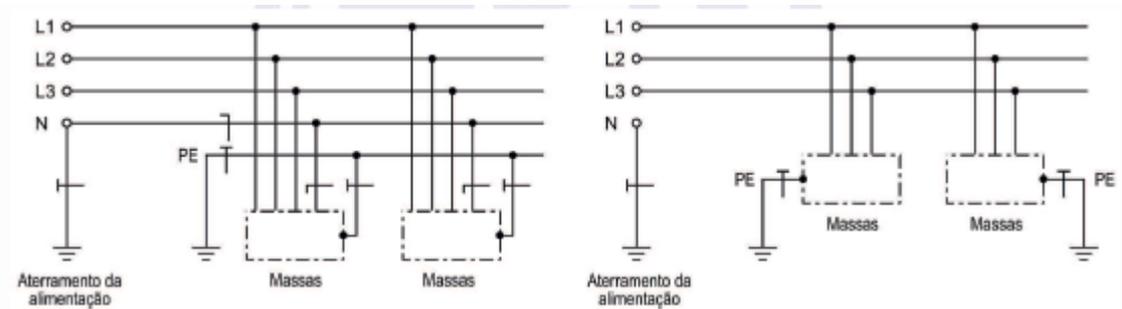
Fonte: (ABNT NBR 5410, 2004, p.24).

2.2.2 Esquema TT

O esquema TT possui um ponto da alimentação diretamente aterrado e as massas diretamente aterradas independente desse ponto aterrado da alimentação, ou seja, as massas são

aterradas por eletrodos de aterramento distintos do aterramento da alimentação. Esse esquema de aterramento pode apresentar ou não o neutro na instalação.

Figura 5– Esquema TT

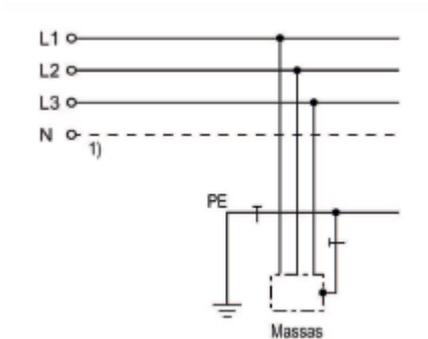


Fonte: (ABNT NBR 5410, 2004, p.24).

2.2.3 Esquema IT

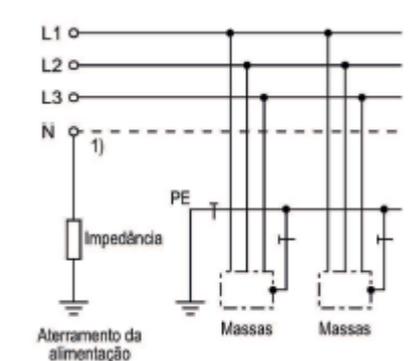
No esquema IT todas as partes vivas são isoladas da terra ou um ponto da alimentação é aterrado através de impedância. As massas da instalação são aterradas no mesmo eletrodo de aterramento da instalação ou são aterradas em eletrodos de aterramento próprios.

Figura 6– Esquema IT sem aterramento da alimentação.



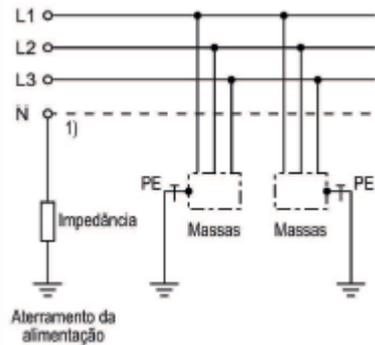
Fonte: (ABNT NBR 5410, 2004, p.25).

Figura 7– Esquema IT com alimentação aterrada através de impedância.



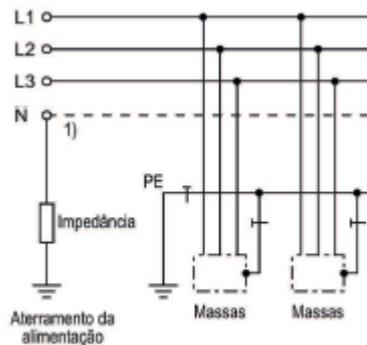
Fonte: (ABNT NBR 5410, 2004, p.25).

Figura 8– Esquema IT com massas aterradas em eletrodos separados e independentes do eletrodo de aterramento da alimentação.



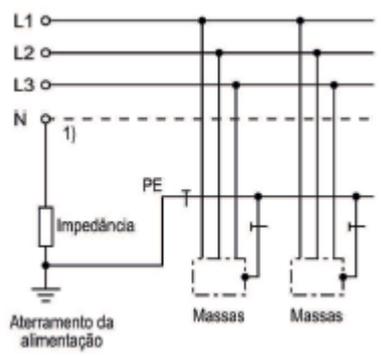
Fonte: (ABNT NBR 5410, 2004, p.25).

Figura 9– Esquema IT com massas aterradas juntas em eletrodo independente do eletrodo de aterramento da alimentação.



Fonte: (ABNT NBR 5410, 2004, p.25).

Figura 10– Esquema IT com massas aterradas no mesmo eletrodo da alimentação.



Fonte: (ABNT NBR 5410, 2004, p.25).

O aterramento de um sistema elétrico pode ser feito de diversas maneiras como apresentado acima, neste trabalho será desenvolvido o projeto de um aterramento de uma subestação predial, onde são utilizadas malhas de terra que podem variar de tamanho e configuração de acordo com cada projeto, sendo utilizada a norma ABNT NBR 15751 para o projeto. É chamada de malha de aterramento o conjunto de condutores nus interligados e

enterrado no solo. A norma especifica os requisitos para dimensionamento do sistema de aterramento de subestações de energia elétrica, acima de 1kV, quando sujeitos a solicitações em frequência industrial. Esta norma estabelece também as condições de segurança para pessoas e instalações dentro e fora dos limites da subestação. Segundo a norma ABNT NBR 5410 (2008, p.37), “Todas as massas da instalação situadas em uma mesma edificação devem estar vinculadas à equipotencialização principal da edificação e, dessa forma, a um mesmo e único eletrodo de aterramento”.

O aterramento de uma subestação predial deve ser projetado segundo as normas ABNT NBR 5410 e ABNT NBR 15751 e, no caso do prédio que será estudado, também segundo a norma técnica CPFL GED 2855 que atende a região. O aterramento do posto de transformação e medição deve ser feito sob o posto, sendo necessário também um anel circundando o perímetro da edificação, interligado ao sistema de aterramento. Além disso, para o posto em alvenaria abrigado (ou posto integrante a edificação) deve ser instalado um anel de aterramento de cabo de cobre nu 35 mm² junto à parede, para realizar o aterramento de todos os equipamentos, ferragens e neutro, sendo esse anel interligado à malha. Todas as partes metálicas não energizadas da cabine e do conjunto de medição devem ser interligadas a este anel de aterramento, através de fio ou cabo de bitola mínima de 25 mm² de cobre nu.

Essas características obrigatórias que devem ser seguidas dentro da subestação são exigidas pela concessionária CPFL RGE Sul, a fim de manter a segurança dos equipamentos e das pessoas que possam vir a transitar dentro da cabine. Ainda, sobre o aterramento do transformador, é importante salientar que deve ser seguida a norma ABNT NBR 15751 que traz todas as informações sobre como deve ser feito o aterramento do equipamento, ponto de estudo no desenvolvimento deste trabalho.

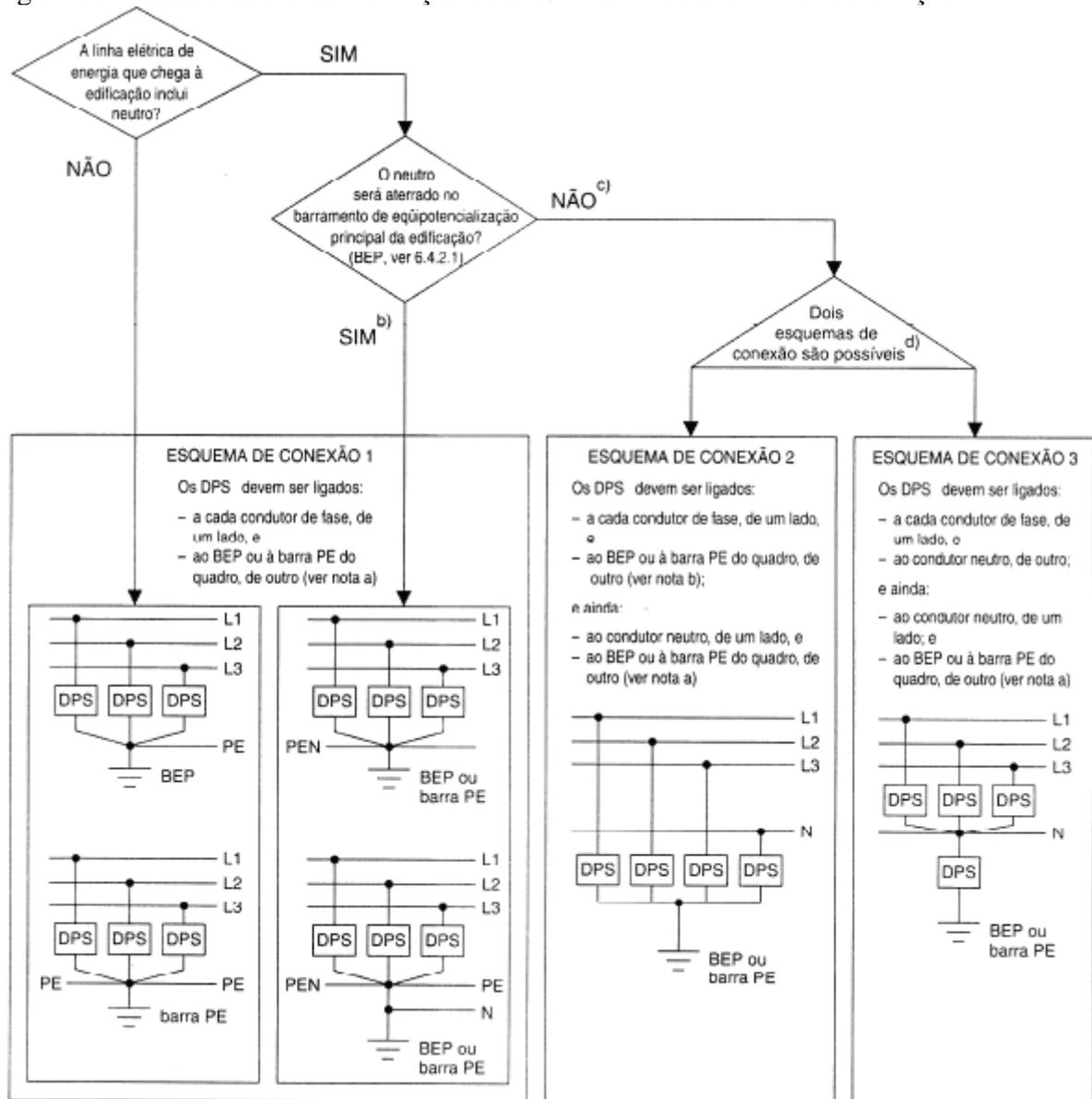
Existem estudos sobre a melhoria dos sistemas de aterramento com a utilização de produtos químicos no solo, hastes envolvidas em concreto, entre outros. A dissertação “Avaliação de sistemas de aterramento considerando a utilização de condutores e hastes envolvidos em concreto” de Sergio Ricardo Campos Bezerra, da Universidade de São Paulo, traz ao debate soluções para locais onde o solo apresenta alto valor de resistividade. O trabalho tem por objetivo “avaliar a utilização de condutores e hastes envolvidos em concreto em sistemas de aterramento, visando à redução dos valores de resistência de terra”, apresenta uma revisão bibliográfica a respeito dos sistemas de distribuição de energia elétrica, abrangendo as tensões de fornecimento na rede primária e secundária, e traz uma revisão sobre os sistemas de aterramento. São feitas ao longo do trabalho diversas simulações em software utilizando diferentes modelos de malha de aterramento, incluindo a utilização de concreto e produtos

químicos. Segundo Sergio, “a vantagem da utilização das armaduras do concreto é que o mesmo fica sob o nível do solo, mantendo sempre certo grau de umidade, assim seu valor de resistividade é baixo, comumente muito menor do que o valor do próprio solo onde está sendo construído o sistema de aterramento.

Portanto, contribui para a redução da resistência de terra, com conseqüente diminuição das diferenças de potencial de toque e de passo”. É apresentado ainda, um estudo de caso com o uso do software CDEGS, para diversos tipos de malha de aterramento, como reticuladas, em triângulo e em anel, e são apresentados resultados com e sem concreto envolta das hastes. Diversas conclusões são feitas a respeito destas simulações e experiências práticas em campo, entre elas, a utilização de concreto em configurações simples com 1 haste ou hastes alinhadas, se torna viável para solos com alta resistividade, sendo que os resultados das simulações ficaram próximos dos obtidos em medições de campo.

Para a proteção contra sobretensões de origem atmosférica transmitidas pela linha de alimentação, bem como a proteção contra sobretensões de manobra, são utilizados os DPS (dispositivo de proteção contra surtos), que devem ser instalados junto ao ponto de entrada da linha na edificação (entrada de serviço), a fim de proteger também contra descargas atmosféricas. De acordo com a necessidade de instalação de DPS em cada ligação ou entrada de energia, pode-se ter diferentes esquemas de ligação.

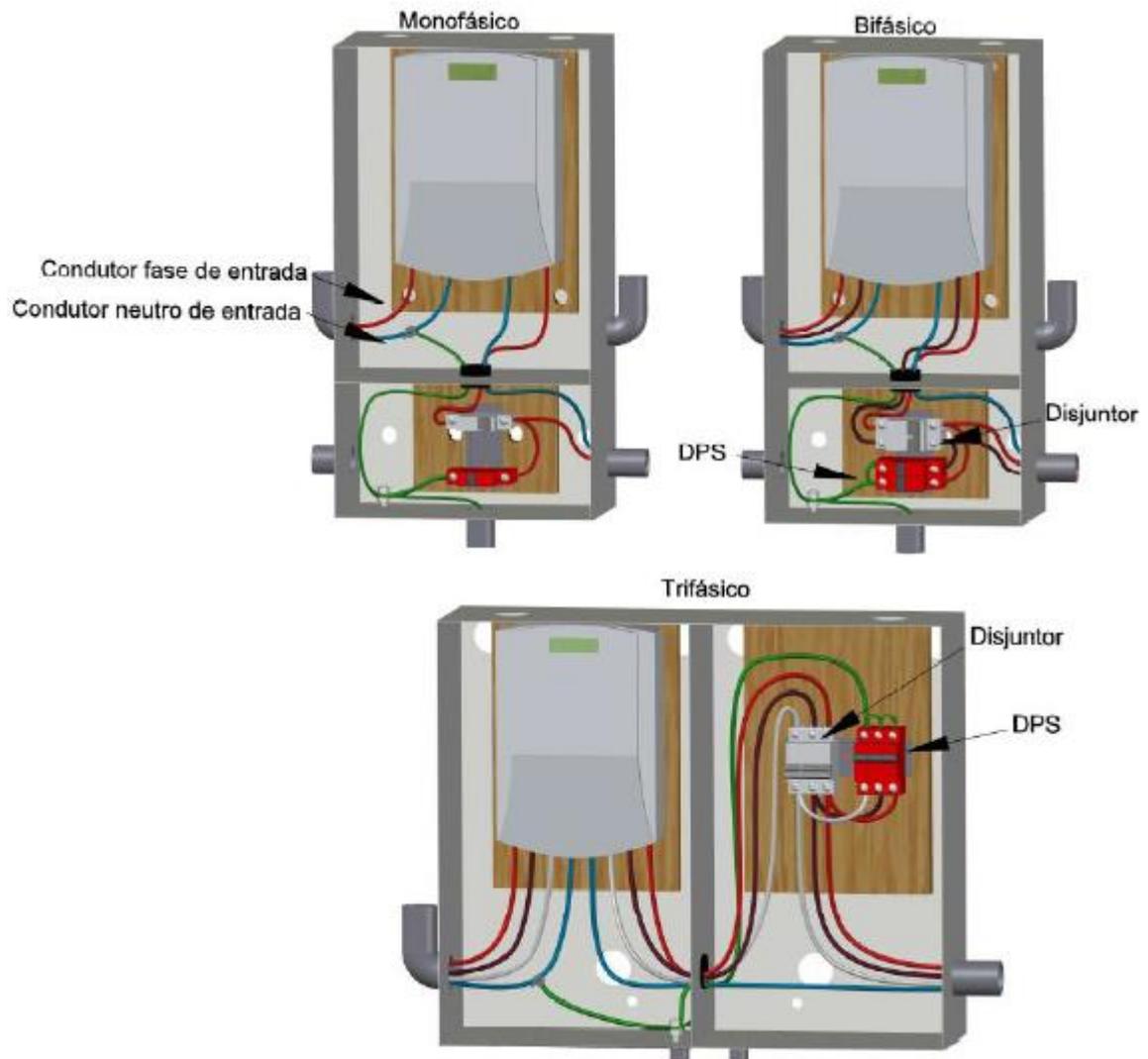
Figura 11– Possibilidades de instalação de DPS na entrada da linha da edificação.



Fonte: (ABNT NBR 5410, 2004, p.131).

As orientações que constam no GED 119 sobre a instalação de DPS no ponto de entrada da linha na edificação falam que o mesmo deve ser instalado em caixa, com dispositivos para lacres, com cabeamento derivando dos barramentos ou dos bornes de entrada do disjuntor geral ou barramento de entrada, sendo que a aquisição, instalação e manutenção são de responsabilidade do consumidor. A proteção com instalação de DPS também deve ser feita junto ao padrão de entrada individual de cada consumidor, sendo que o local de instalação não deve ser no mesmo compartimento destinado ao medidor, podendo estar no mesmo compartimento que o disjuntor. O DPS deve ser da classe tipo II, com fixação em trilhos DIN 35 ou garras padrão NEMA e tensão nominal de 275V para as tensões 220/380V.

Figura 12– Instalação de DPS para consumidor individual monofásico, bifásico ou trifásico

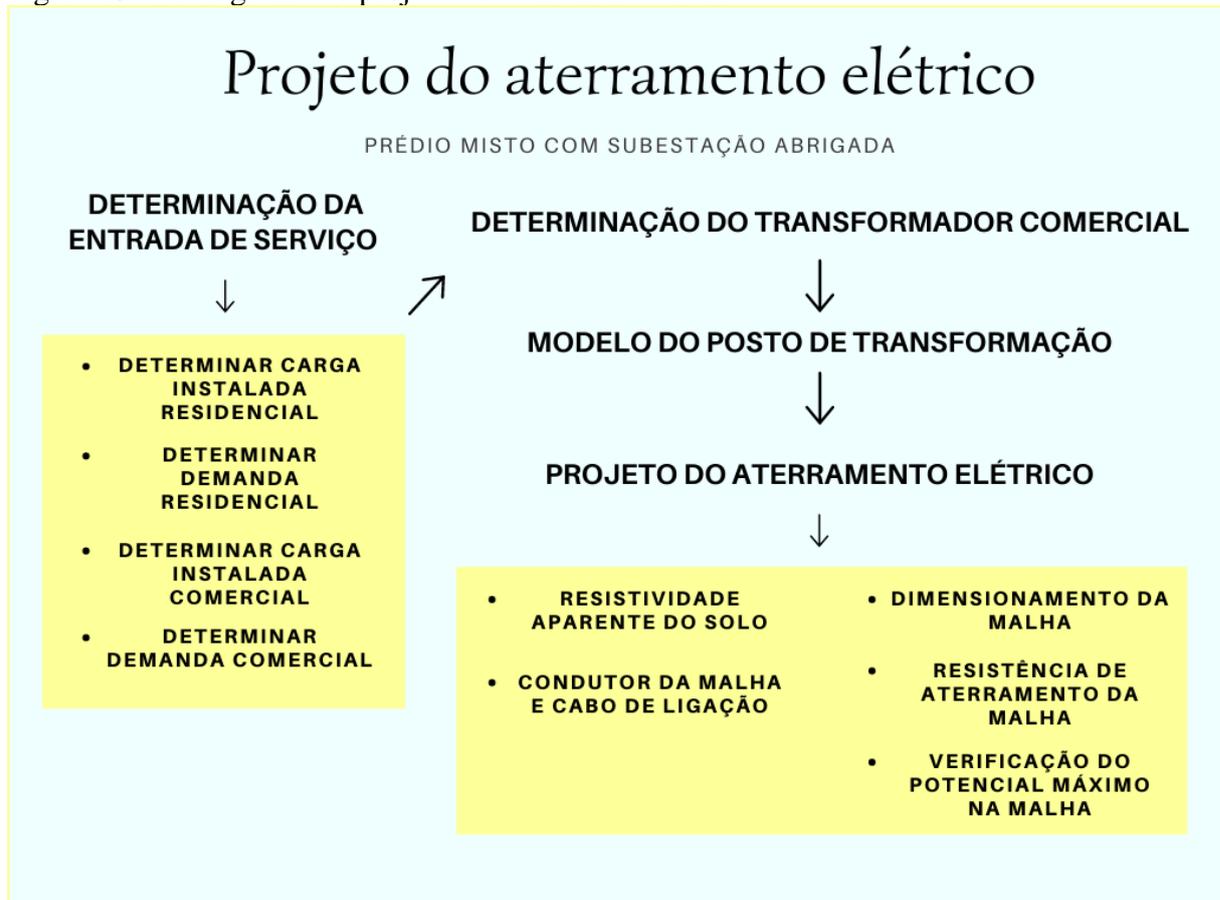


Fonte: (Norma técnica CPFL – RGE Sul – GED 13, 2020, p.69).

3 METODOLOGIA

Este trabalho foi realizado utilizando uma abordagem analítica, ou seja, baseando-se em fórmulas matemáticas, desenvolvidas geralmente de forma manual. Essas fórmulas e equações são encontradas em literaturas de Engenharia e normas técnicas de organizações, como por exemplo a ABNT e a CPFL Energia. Primeiramente foi realizado um levantamento de cargas específicas da instalação, bem como o cálculo de carga instalada e demanda do prédio. Após isso, foi realizado o dimensionamento do transformador que irá atender a parte comercial do prédio, bem como foi especificado o modelo do posto de transformação desta instalação. Por fim, foi realizado o projeto do aterramento elétrico, levando em conta características do terreno, corrente de curto circuito máximo, área ocupada pela edificação e área ocupada pela subestação, entre outras variáveis. Estes cálculos foram feitos baseados em normas técnicas da região de Santa Maria, local onde a edificação se encontra, e normas técnicas da ABNT.

Figura 13– Fluxograma do projeto do aterramento elétrico



Fonte: Autoria própria.

4 DESENVOLVIMENTO PRÁTICO

As instalações elétricas em geral são dimensionadas de acordo com a demanda que determinada casa, prédio ou indústria necessita, sendo esse o principal ponto de partida para o projeto de toda a instalação. O presente trabalho trata-se de um estudo de caso do aterramento elétrico de um prédio misto com subestação abrigada. O prédio em questão possui 13 pavimentos, dos quais: no pavimento térreo e segundo pavimento será uma faculdade particular; do 3° ao 9° pavimento, unidades consumidoras residenciais, sendo 28 apartamentos por andar; subsolo 1, garagem da faculdade particular; e subsolo 2 e subsolo 3, garagem do residencial. Sendo assim, torna-se necessário realizar o projeto de entrada de serviço do prédio, visando atender todas as unidades consumidoras de forma regulamentar. Para isso, o prédio deve contar com duas entradas de energia, uma baixa tensão e uma em média tensão, com a instalação de uma subestação com um transformador particular para atender a unidade comercial.

É necessário então, o cálculo de carga instalada e demanda de cada unidade consumidora e o cálculo de demanda do prédio como um todo, afim da determinação dos parâmetros da entrada de serviço do prédio. Dentre esses parâmetros, serão destacados todos que se fazem essenciais para a determinação do aterramento elétrico deste prédio, objetivo geral do trabalho. Para o cálculo de carga instalada, demanda, ramal de entrada, transformador, escolha do posto do transformador e medição e condições para energização, foi utilizado o GED 13, GED 119, GED 2855, GED 10126, entre outros, normas da RGE Sul – CPFL, concessionária responsável pelo atendimento da região em questão. O GED 13 aplica-se às instalações consumidoras residenciais, comerciais e industriais, de características usuais com carga instalada até 75kW, a serem ligadas nas redes aéreas secundárias de distribuição urbana. O GED 119 se aplica às instalações consumidoras de edifícios de uso coletivo residenciais, comerciais ou mistos, a serem ligados nas redes aéreas de distribuição em tensão secundária ou primária, frequência de 60Hz. Os subcapítulos a seguir irão tratar sobre esses parâmetros. É importante salientar que em casos de edifícios comerciais ou mistos com demanda superior a 300kVA, a alimentação deve ser obrigatoriamente por meio de rede primária da via pública e a entrada de serviço deve ser subterrânea. Havendo unidades consumidoras com carga instalada acima de 75kW, o projeto deve prever a construção de cabine mista para os transformadores CPFL e particular, sendo as unidades consumidoras residenciais atendidas pelo transformador CPFL.

4.1 DETERMINAÇÃO DA ENTRADA DE SERVIÇO

4.1.1 Carga instalada e demanda residencial

Para o cálculo de carga instalada é realizado a soma das potências nominais, em kW, de todos os equipamentos de cada unidade consumidora residencial. Os apartamentos são constituídos por uma sala social/cozinha com área média de 17 m², um dormitório com área média de 7,5 m² e banheiro com área média de 2,62 m², totalizando uma área média de 28 m². Abaixo tabela com carga instalada detalhada de cada unidade consumidora.

Tabela 1- Carga instalada individual dos apartamentos

	Número de pontos/aparelhos	Valor de cada ponto/aparelho (W)	Total (W)
TUG	10	100	1000
TUE	3	600	1800
Iluminação	6	100	600
Chuveiro	1	6500	6500
Condicionador de Ar	1	1000	1000
Total carga instalada (kW)		10,9kW	

Cada unidade consumidora terá uma carga instalada de 10,9kW, se enquadrando assim na categoria de ligação A4 segundo tabela 1b do GED 13, dispensando cálculo de demanda individual. Para a determinação da entrada de serviço, se faz necessário o cálculo de demanda do residencial como um todo, e neste cálculo é levado em conta todos os aparelhos das áreas em comum. A demanda é a potência, em kW ou kVA, requisita por determinada carga instalada levando em conta alguns fatores de correção e fatores quantitativos. A demanda a seguir foi calculada com base nas normas do GED 119.

- a) Iluminação e tomadas de uso residencial

$$a = 28 (m^2) \times 196 (ud) \times 5(W/m^2) = 27,44kVA \quad (1)$$

- b) Aparelhos

$$b = 6500(W) \times 196 (ud) \times 0,21 = 267,54kVA \quad (2)$$

sendo 0,21 o fator de demanda para chuveiros, segundo tabela 3 do GED 119.

- c) Aparelhos de ar condicionado

$$c = 1000(W) \times 196(ud) \times 0,7 = 137,2kVA \quad (3)$$

sendo 0,7 o fator de demanda para aparelhos de ar condicionado, segundo tabela 6 do GED 119.

Tendo feito o cálculo de demanda de iluminação e tomadas, aparelhos e condicionadores de ar, pode-se então, aplicar o coeficiente de simultaneidade, que é utilizado na determinação de demanda de edifícios residenciais, de acordo com a quantidade de unidades consumidoras residenciais existentes no prédio. Esse coeficiente é encontrado na tabela 7 do GED 119, no

nosso caso para 196 unidades consumidoras, abaixo o cálculo de demanda com aplicação do coeficiente.

$$D = (27,44k + 267,54k + 137,2) \times 0,5 = 216,09kVA \quad (4)$$

Para finalizar o cálculo de demanda do residencial, deve ser levada em conta a demanda de iluminação e tomadas, como também a demanda de aparelhos da área em comum do prédio, chamada de administração, considerada como uma única unidade consumidora.

d) Iluminação e tomadas administração

$$d = 5.430(m^2) \times 5 (W/m^2) = 27,15kVA \quad (5)$$

sendo:

5.430 m²: área média de escadas, corredores, pavimento técnico, iluminação externa e subsolos (garagem) 2 e 3;

5 W/m²: potência mínima para iluminação e tomadas por m².

e) Motores administração

Para o cálculo de demanda dos motores elétricos, deve-se converter as potências de motores de CV ou HP para kVA, segundo as tabelas 4 e 5 do GED 119. Após isso, deve-se aplicar o fator de demanda de 100% para o motor de maior potência e 50% para os demais motores.

O residencial conta com 2 motores de elevador de 7,5 cv, uma bomba d'água de 4 cv e um motor de portão eletrônico de 1 cv, sendo todos trifásicos.

$$e = 8.650(W) \times 100\% + 8.650(W) \times 50\% + 5.030(W) \times 50\% + 1.520(W) \times 50\% \quad (6) \\ = 16,25kVA$$

sendo:

8.650W: potência em watts do motor de elevador;

5.030W: potência em watts do motor da bomba d'água;

1.520W: potência em watts do motor do portão eletrônico.

A demanda da administração do prédio é calculada, pela soma da demanda de iluminação e tomadas e dos motores.

$$D = 27,15kVA + 16,25 kVA = 43,4kVA \quad (7)$$

Sendo assim, a demanda total do residencial se dá pela soma da demanda das 196 unidades consumidoras com a demanda da administração.

$$D = 216,09kVA + 43,4kVA = 259,49kVA \quad (8)$$

Dessa forma, como tem-se 196 unidades consumidoras residenciais com carga instalada inferior a 15kW e demanda total do residencial abaixo de 300kVA, a entrada de energia para o residencial será em baixa tensão.

4.1.2 Carga instalada e demanda comercial

Para o cálculo de carga instalada da parte comercial do prédio de uso coletivo misto em questão, é realizado a soma das potências nominais, em kW, de todos os equipamentos da parte comercial. A faculdade particular que ocupará o pavimento térreo, segundo pavimento e subsolo 1, contará com um auditório, duas salas de marketing, sala de RH, pastoral, dois banheiros femininos, dois banheiros masculinos, sala de matrículas, secretaria acadêmica, sala de arquivos, sala de tecnologia da informação, biblioteca, oito salas de aula, laboratório de informática, sala de professores, entre outros ambientes. Importante salientar a presença de 5 motores elétricos no subsolo 1, sendo 2 motores de plataforma de acessibilidade, 1 motor de elevador, 1 motor de portão eletrônico e 1 motor de bomba d'água. Abaixo tabela com carga instalada detalhada da área comercial.

Tabela 2– carga instalada da área comercial

	Carga instalada tomadas e iluminação (kW)	Chuveiro (kW)	Carga instalada condicionadores de ar (kW)	Motores elétricos (kW)	Total (kW)
Pav. Térreo	111,8	0	49,74	0	161,54
2° pavimento	115,1	0	48	0	163,1
Subsolo 1	5,3	6,5	0	31,37	43,17
Total (kW)			367,81		

Dessa forma, a carga instalada total da área comercial do prédio é de 367,81 kW. Deve-se calcular a demanda total que essa entrada de serviço irá necessitar, de acordo com as normas do GED 119.

a) Iluminação e tomadas de uso geral

A demanda correspondente a iluminação e tomadas de uso geral com finalidade comercial ou industrial deve ser calculada com base na carga declarada e nos fatores de demanda, indicados na tabela 1 do GED 119. A seguir será apresentado o cálculo de demanda para o térreo, segundo pavimento e subsolo 1, indicados como a_1 , a_2 e a_3 , respectivamente.

$$a_1 = 111,8k \times 0,5 = 55,9kVA \quad (9)$$

$$a_2 = 115,1k \times 0,5 = 57,55kVA \quad (10)$$

$$a_3 = 5,3k \times 1 = 5,3kVA \quad (11)$$

sendo:

0,5: fator de demanda para iluminação e tomadas de escolas e semelhantes;

1: fator de demanda para iluminação e tomadas para garagens comerciais e semelhantes.

$$a = a_1 + a_2 + a_3 = 118,75kVA \quad (12)$$

b) Aparelhos

A demanda correspondente aos aparelhos deve ser calculada com base na carga declarada e nos fatores de demanda, indicados na tabela 2 do GED 119. Como a parte comercial possui apenas um chuveiro elétrico de carga instalada igual a 6500W, e o fator de demanda para 1 aparelho é de 100%, a demanda total de aparelhos é igual a 6,5kVA.

c) Motores elétricos

Para o cálculo de demanda dos motores elétricos, deve-se converter as potências de motores de CV ou HP para kVA, segundo as tabelas 4 e 5 do GED 119. Após isso, deve-se aplicar o fator de demanda de 100% para o motor de maior potência e 50% para os demais motores.

O comercial conta com 2 motores de plataforma de acessibilidade de 7,5 cv cada, uma bomba d'água de 2 cv, um motor de portão eletrônico de 2 cv e um motor de elevador de 7,5 cv.

$$e = 8.650(W) \times 100\% + 8.650(W) \times 50\% + 8.650(W) \times 50\% + 2.710(W) \times 50\% + 2.710(W) \times 50\% = 20,01kVA \quad (13)$$

sendo:

8.650W: potência em watts do motor de elevador e do motor de plataforma de acessibilidade;

2.710W: potência em watts do motor de bomba d'água e do motor de portão eletrônico.

d) Aparelhos de ar condicionado

A demanda de aparelhos de ar condicionado deve ser calculada segundo fatores de demanda da tabela 6 quando se tratar de aparelhos do tipo janela ou assemelhados. Sendo 6 aparelhos de 1200W, 18 aparelhos de 1500W, 1 aparelho de 3000W, 1 aparelho de 3200W, 8 aparelhos de 3380W, 6 aparelhos de 5000W e 3 aparelhos de 500W (tipo cortina), tem-se o seguinte cálculo de demanda:

$$d = (1200 \times 6 + 1500 \times 18 + 3000 \times 1 + 3200 \times 1 + 3380 \times 8 + 5000 \times 6 + 500 \times 3) \times 0,77 = 76,183 \text{ kVA} \quad (14)$$

sendo:

0,77: fator de demanda para ar condicionado de 41 a 50 unidades.

Sendo assim, a demanda total do comercial se dá pela soma da demanda da carga de iluminação e tomadas de uso geral, aparelhos, motores elétricos e aparelhos de ar condicionado.

$$D = 118,75 \text{ kVA} + 6,5 \text{ kVA} + 20,01 \text{ kVA} + 76,183 \text{ kVA} = 221,45 \text{ kVA} \quad (15)$$

Dessa forma, como tem-se uma unidade consumidora com carga instalada acima de 75kW, a entrada de energia para o comercial será em média tensão.

4.1.3 Ramal de Entrada

O ramal de entrada (ou entrada de serviço) é constituído pelos condutores e acessórios, instalados pelo cliente, do ponto de entrega até o ponto de medição. Pode ter trechos aéreos e subterrâneos e é sempre dimensionado e instalado pelo interessado, com condutores e acessórios de sua propriedade. Dessa forma, tem-se um ramal de entrada para o residencial e um ramal de entrada para o comercial, sendo o primeiro em baixa tensão e o segundo em média tensão. Para estipular a seção dos cabos de cada entrada, deve-se realizar o cálculo da corrente percorrida em cada uma. Abaixo o cálculo:

$$I_{RES} = \frac{259,49 \text{ kVA}}{380 \times \sqrt{3}} = 394,2542 \text{ A/fase} \quad (16)$$

$$I_{COM} = \frac{221,45 \text{ kVA}}{13800 \times \sqrt{3}} = 9,26 \text{ A/fase} \quad (17)$$

Segundo a tabela 11 do GED 119, pode-se determinar a seção do ramal de entrada aéreo em classe de tensão secundária de distribuição, sendo escolhido um ramal de seção circular de 150mm² de cobre, sendo que o mesmo suporta uma corrente de até 419A, cabo multiplex 3F+N, isolamento 0,6/1kV.

Segundo a tabela 4 do GED 2856, pode-se determinar a seção do ramal de entrada subterrâneo em classe de tensão primária de distribuição, sendo escolhido um ramal de seção circular de 10 mm² de cobre, sendo que o mesmo suporta uma corrente de até 55A, devem ter isolamento 8,7/15kV, tendo como isolante o XLPE ou EPR.

Além disso, deve ser estendido no duto um cabo de cobre isolado, com isolamento 750V na cor verde, de seção 35 mm² para interligar o neutro da rede ao sistema de terra do consumidor. Pode-se definir, também, através da tabela 4 do GED 2856, o eletroduto junto ao

poste, de descida do ramal de entrada, que será de 4 polegadas, de aço-carbono zincado por imersão a quente. O eletroduto subterrâneo deve ter diâmetro interno de 4 polegadas, instalados a uma profundidade mínima de 60 cm em calçados e passeios públicos e todas as entradas e saídas devem ser vedadas com massa calafetadora.

4.2 DETERMINAÇÃO DOS TRANSFORMADORES

Tendo calculado a demanda total comercial, pode-se então dimensionar o transformador que irá atender essa unidade. Segundo o GED 2855 para realizar o cálculo do transformador é preciso realizar o cálculo do fator de potência médio, para realizar a divisão da demanda pelo mesmo, afim de encontrar o valor do transformador. Para realizar esse cálculo, divide-se a potência nominal de cada equipamento pelo seu fator de potência, somam-se estes quocientes para toda a instalação e o fator de potência médio é o resultado da divisão da somatória das potências individuais instaladas pela soma dos quocientes. O fator de potência individual de cada equipamento é dado na tabela 19 da norma técnica CPFL GED 2856, com exceção dos motores, cujo fator de potência médio é dado nas tabelas 15 e 16 dessa mesma norma técnica. Neste caso, o cálculo do fator de potência médio irá considerar apenas os motores, visto que o fator de potência médio individual das lâmpadas, chuveiros e condicionadores de ar são iguais a 1.

No comercial, tem-se na instalação elétrica 5 motores elétricos trifásicos, sendo 1 motor para elevador, 2 motores para 2 plataformas de acessibilidade, 1 motor para a bomba d'água e 1 motor para o portão eletrônico. A tabela abaixo traz as informações necessárias para realizar o cálculo do fator de potência médio.

Tabela 3– Motores trifásicos comercial

	Potência (cv)	Potência (W)	Fator de pot. indiv.	Pot. / FP
Elevador	7 ½	8650	0,76	11.381,58
Plataforma de acessibilidade	7 ½	8650	0,76	11.381,58
Bomba d'água	2	2710	0,72	3.763,9
Portão eletrônico	2	2710	0,72	3.763,9

Dessa forma, pode-se calcular o fator de potência médio dividindo a carga instalada total da instalação sem considerar o fator de potência individual de cada aparelho pela carga instalada total da instalação considerando o fator de potência individual.

$$FP_{m\u00e9dio} = \frac{367,81kW}{378,113kW} = 0,973 \quad (18)$$

Segundo o item 6.9.4.2 do GED 2855, caso o fator de pot\u00eancia m\u00e9dio seja inferior a 0,92, o consumidor deve instalar capacitores para efetuar a corre\u00e7\u00e3o do fator de pot\u00eancia e evitar o ajuste de faturamento, sendo dispens\u00e1vel neste caso. Abaixo ser\u00e1 apresentado o c\u00e1lculo do transformador.

$$Tr = \frac{D(kVA)}{FP_{m\u00e9dio}} = \frac{221,45kVA}{0,973} = 227,6kVA \quad (19)$$

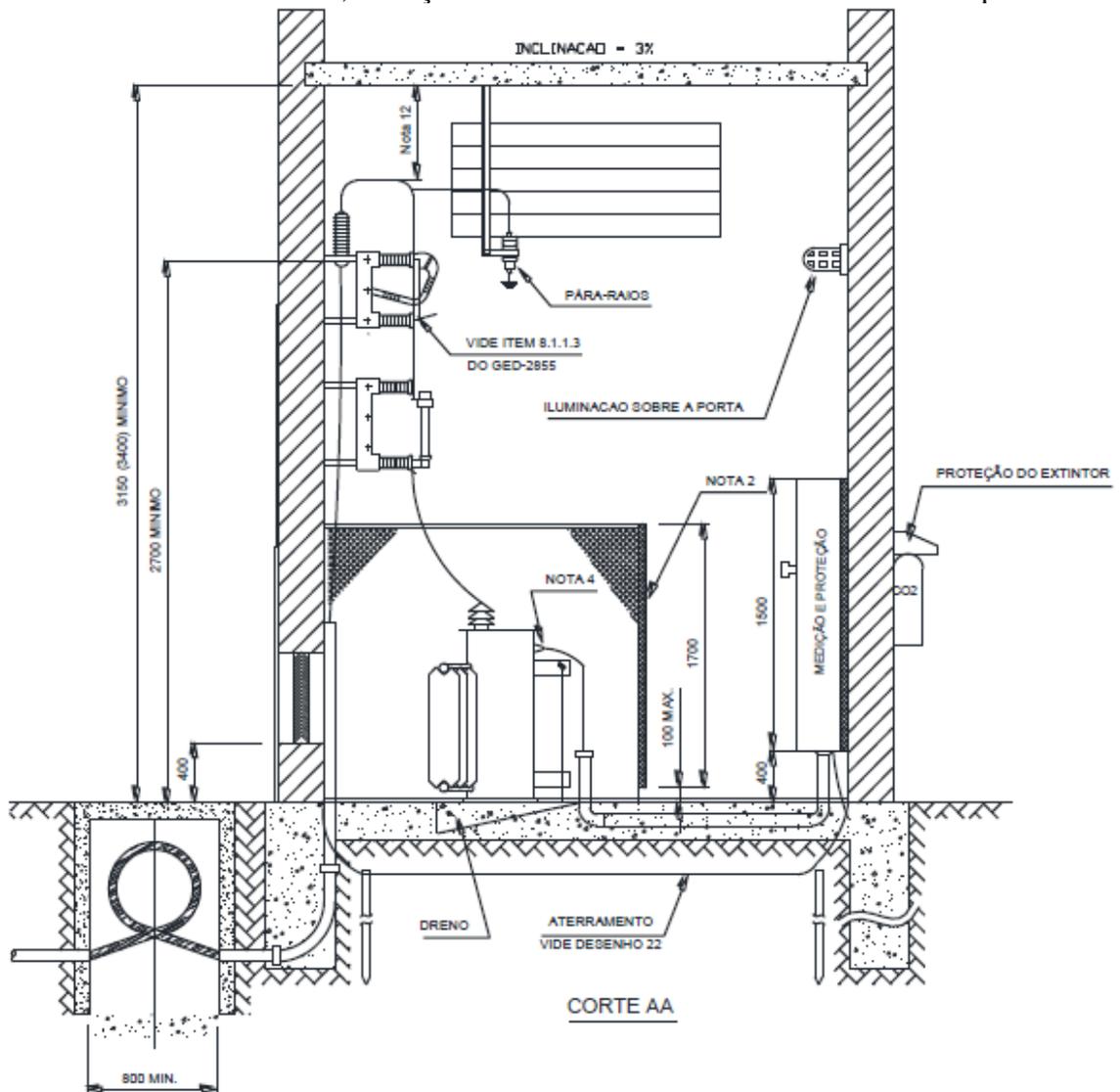
Sendo assim, segundo a tabela 2 da norma t\u00e9cnica CPFL GED 2856, o transformador a ser utilizado para atender essa instala\u00e7\u00e3o em m\u00e9dia tens\u00e3o \u00e9 o de 225kVA. Como a subesta\u00e7\u00e3o faz parte integrante da edifica\u00e7\u00e3o, \u00e9 obrigat\u00f3rio que o transformador seja com isolamento a seco.

4.3 MODELO DO POSTO DE TRANSFORMA\u00c7\u00c3O

Como dito anteriormente, o posto de medi\u00e7\u00e3o, prote\u00e7\u00e3o geral e transforma\u00e7\u00e3o pode ser instalado em local isolado, fazer parte da edifica\u00e7\u00e3o ou ainda fazer parte de outra edifica\u00e7\u00e3o na mesma propriedade, sendo que em qualquer dos casos o posto deve ser de f\u00e1cil acesso, tanto para pessoas como para a substitui\u00e7\u00e3o de algum equipamento. A cabine deve ser constru\u00edda em alvenaria ou concreto armado e apresentar caracter\u00edsticas definitivas de constru\u00e7\u00e3o, as medidas devem seguir a tabela 8 do GED 119, sendo que para transformadores de 225 kVA e 300kVA o espa\u00e7o m\u00ednimo do compartimento individual \u00e9 de 200x260cm.

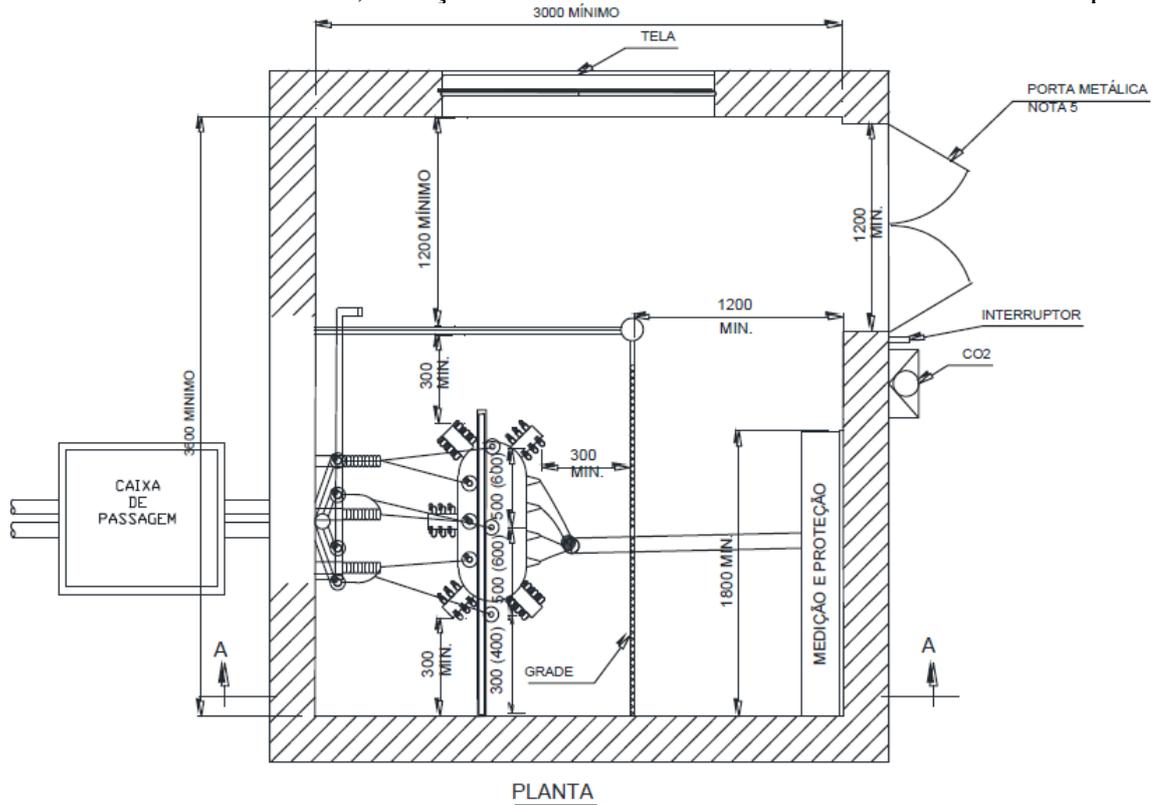
Neste trabalho o posto de transforma\u00e7\u00e3o far\u00e1 parte da edifica\u00e7\u00e3o, abrigado e com medi\u00e7\u00e3o em tens\u00e3o secund\u00e1ria. Como o posto faz parte integrante da edifica\u00e7\u00e3o, somente \u00e9 permitido o emprego de transformador a seco, dispensando a constru\u00e7\u00e3o da cabine \u00e0 prova de fogo, sendo que a CPFL recomenda que possua n\u00edvel b\u00e1sico de isolamento de 95kV para instala\u00e7\u00f5es de classe 15kV. O posto de medi\u00e7\u00e3o e prote\u00e7\u00e3o com ou sem transformador de propriedade do consumidor, \u00e9 projetado, constru\u00eddo e instalado pelo interessado, com materiais e equipamentos de sua propriedade. Neste tipo de posto de transforma\u00e7\u00e3o o cabo secund\u00e1rio poder\u00e1 ser, no m\u00e1ximo, duplado por fase, e os compartimentos do disjuntor e da medi\u00e7\u00e3o em alta tens\u00e3o n\u00e3o s\u00e3o necess\u00e1rios, por\u00e9m deve ser previsto um quadro de medi\u00e7\u00e3o indireta em baixa tens\u00e3o.

Figura 14– Cabine em alvenaria, medição em baixa tensão e entrada subterrânea – perfil



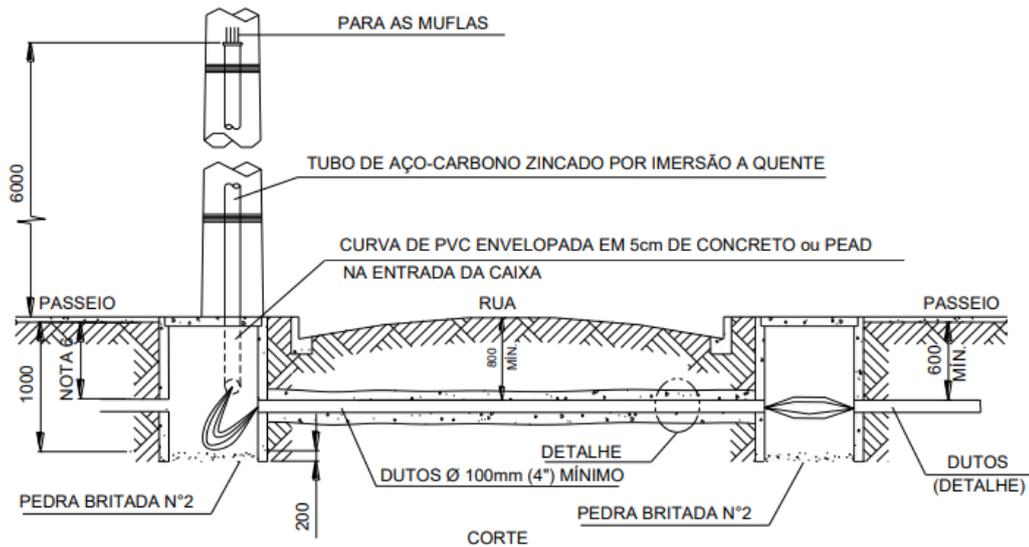
Fonte: (Norma técnica CPFL – RGE Sul – GED 2859, 2021, p.30).

Figura 15– Cabine em alvenaria, medição em baixa tensão e entrada subterrânea – vista superior



Fonte: (Norma técnica CPFL – RGE Sul – GED 2859, 2021, p.30).

Figura 16– Detalhamento entrada de energia subterrânea em média tensão



Fonte: (Norma técnica CPFL – RGE Sul – GED 119, 2021, p.97).

Figura 17– Projeto do posto de transformação junto a edificação deste estudo



Fonte: (Autoria própria).

O posto de transformação do prédio deve seguir alguns critérios estabelecidos pelo GED 2855 e 2859, abaixo serão todos listados.

- a) O transformador particular deverá ser de fabricante cadastrado, constante no documento CPFL 16974, podendo ser nas potências de 30kVA, 45kVA, 75kVA, 112,5kVA, 150kVA, 225kVA e 300kVA, para quando a medição for em tensão secundária;
- b) Não é permitido aos consumidores o fornecimento de energia elétrica a terceiros, mesmo que gratuitamente;
- c) O posto de medição e proteção deve ser de fácil acesso, tanto para pessoas como para a substituição de algum equipamento;
- d) A área ocupada pelo posto ou cabine deve conter dreno para escoamento de água e óleo nos casos exigíveis, não deve ser inundável;
- e) Em postos com transformador abrigado, nas portas de acesso devem ser fixadas placas indicativas de tensão primária no local;
- f) O posto deve ser construído no limite da propriedade com a via pública, entre 1,5 metros e 3 metros afastado da divisa, com acesso independente;
- g) Deve-se instalar dispositivos para lacre nos quatro cantos de cada tela;
- h) Os terminais secundários do transformador devem ser enfitados com fita de autofusão, sendo que os cabos devem ficar visíveis;
- i) A placa com numeração operativa, fornecida pela CPFL, deve ser fixada na porta à aproximadamente 1,5 metros do solo, podendo ser rebitada ou parafusada;
- j) A descida do cabo de aterramento dos para-raios pode ser feita internamente à cabine.

4.4 PROJETO DO ATERRAMENTO ELÉTRICO

O projeto do aterramento elétrico é feito para se obter a resistência desejada do sistema, de forma a realizar a proteção dos equipamentos e a segurança para o ser humano. Dessa forma, o sistema de aterramento deve ter uma baixa resistência, para facilitar e induzir que uma possível corrente de falta faça esse “percurso”.

No cálculo da malha de aterramento devem ser considerados os seguintes itens: (i) a área definida para a instalação da malha de aterramento; (ii) os valores de resistividade elétrica do solo baseados nas medições de campo; e (iii) o valor da corrente de curto-circuito fase-terra é calculado a partir da configuração do sistema da concessionária e/ou Operador Nacional de Sistema (ONS) para um horizonte de 10 anos. (MAMEDE, 2021, p. 86).

Além do sistema de aterramento, também é realizado o Sistema de Proteção Contra Descargas atmosféricas (SPDA), que apesar de não ser o foco de estudo deste trabalho, precisa estar conectado a malha de aterramento. Este sistema de proteção é regulamentado pela norma ABNT NBR 5419 que é dividida em quatro partes, trazendo também informações a respeito do sistema de aterramento.

Quando se tratar da dispersão da corrente da descarga atmosférica (comportamento em alta frequência) para a terra, o método mais importante de minimizar qualquer sobretensão potencialmente perigosa é estudar e aprimorar a geometria e as dimensões do subsistema de aterramento. Deve-se obter a menor resistência de aterramento possível, compatível com o arranjo do eletrodo, a topologia e a resistividade do solo no local. (ABNT NBR 5419-3, 2015, p.27)

Dito isso, é importante observar que esta norma traz dois tipos principais de arranjos para o sistema de aterramento interligado ao sistema de SPDA. O primeiro tipo de arranjo não utiliza as armaduras das fundações da construção como eletrodo de aterramento, sendo que o arranjo consiste em um condutor em anel, externo à estrutura a ser protegida, em contato com o solo por pelo menos 80% do seu comprimento total. Estes eletrodos também podem ser do tipo malha de aterramento, se for necessário podem ser adicionados eletrodos adicionais ao eletrodo de aterramento em anel. O eletrodo de aterramento em anel, deve ser enterrado em uma profundidade mínima de 0,5m e ficar posicionado à uma distância de 1 metro ao redor das paredes externas da construção. É importante deixar claro que este método é o mais custoso, visto que seriam utilizadas hastes de cobre como eletrodos de aterramento, ao redor da edificação. O segundo tipo de arranjo, mais utilizado nas construções, utiliza as armaduras de aço interconectadas nas fundações de concreto como eletrodos de aterramento, desde que sua continuidade elétrica seja garantida. Quando isso é feito, devem ser tomados cuidados especiais nas interconexões para prevenir rachaduras no concreto.

Sendo assim, o primeiro passo é calcular a resistividade aparente do solo onde este sistema de aterramento será alocado, para posteriormente realizar o cálculo da resistência deste sistema de aterramento. Após isso, é feito o dimensionamento do condutor da malha e dos cabos de ligação das hastes, sendo que o sistema de aterramento deste prédio irá utilizar a própria ferragem do prédio para realizar o aterramento, além de 4 hastes instaladas no terreno logo abaixo do posto de transformação. Por fim, é feito o cálculo da resistência deste sistema de aterramento e a verificação dos potenciais máximos de acordo com os critérios exigidos pela norma NBR 15751.

4.4.1 Resistividade aparente do solo

A resistividade aparente do solo é a resistividade vista por um sistema de aterramento qualquer, em um solo com características de resistividade homogênea ou estratificado em camadas. Esta foi medida através do método de Wenner, com o auxílio do terrômetro, um aparelho específico para este tipo de medição. Este método consiste na colocação de 4 eletrodos em linha, atravessando a parte do terreno em que se pretende medir a resistividade do solo. Estes eletrodos precisam ter entre eles a mesma distância, que deverá ser constante, sendo que existe uma sequência correta para a colocação destas pequenas hastes, de acordo com o aparelho usado (isso deve ser verificado no manual). O terrômetro injeta uma corrente entre a primeira e a última haste, que circula pelo interior do terreno, provocando um aumento de diferença de potencial dos eletrodos do meio, que é então interpretada pelo aparelho. Essa tensão é dividida pela corrente injetada, obtendo-se uma resistência. A resistividade do solo é então calculada da seguinte forma:

$$\rho = 2 \cdot \pi \cdot e \cdot R \quad (20)$$

sendo:

ρ : resistividade do solo;

e : distância entre os eletrodos;

R : resistência obtida pela divisão da diferença de potencial induzida nas hastes do meio e a corrente injetada pelas hastes das extremidades.

Alguns modelos de terrômetros mostram o valor da resistência, sendo necessário realizar o cálculo da resistividade do solo, outros mostram diretamente o valor da resistividade do solo. O terrômetro utilizado exibia o valor de resistência do solo, em ohms, sendo necessário realizar o cálculo da resistividade através da fórmula apresentada acima.

Tabela 4– Distância entre eletrodos e resistência medida

Distância entre eletrodos (e)	Resistência medida (R)	Resistividade calculada (ρ)
1m	1,70 Ω	10,6814 Ω .m
2m	1,15 Ω	14,4513 Ω .m
4m	0,72 Ω	18,0955 Ω .m

Figura 18– Medição da resistência do solo



Fonte: (Autoria própria).

Figura 19– Utilização do terrômetro para medição de resistência do solo



Fonte: (Autoria própria).

Feito isso, obteve-se como medida da resistividade aparente deste solo 18,0955 Ω .m, visto que as hastes de aterramento ficarão a uma distância de aproximadamente 5 metros.

4.4.2 Condutor da malha e cabo de ligação

Para realizar o dimensionamento dos condutores da malha de aterramento, é necessário realizar o cálculo do dimensionamento térmico cuja seção deve suportar a circulação de uma corrente máxima durante um tempo em que a temperatura irá elevar acima do valor limite suportável. Segundo a norma ABNT NBR 15751, a seção mínima para os cabos é de 50mm² para cabos de cobre e 38mm² para cabos de aço, afim de suportar os esforços mecânicos e eletromagnéticos. Para o cálculo do dimensionamento térmico, é levado em conta fatores como a temperatura ambiente, a corrente de falta fase-terra em kA, o tempo de duração da falta e a temperatura máxima suportada para cada tipo de condutor (depende do tipo de conexão utilizada). A equação que será utilizada para esse cálculo está presente na bibliografia de Kindemann (1995, p. 137).

$$I = 226,53 \times S_C \times \sqrt{\frac{1}{t} \times \ln\left(\frac{\vartheta_m - \vartheta_a}{234 + \vartheta_a} - 1\right)} \quad (21)$$

sendo:

I : corrente de defeito através do condutor em A;

S_C : seção do condutor de cobre da malha em mm²;

t : tempo de duração do defeito em segundos;

ϑ_m : temperatura máxima permissível, em °C para cada condutor (no caso do cobre a temperatura é limitada pelo tipo de conexão adotada);

ϑ_a : temperatura ambiente em °C.

No caso deste trabalho, a conexão utilizada para unir hastes de aterramento e cabos foi a solda exotérmica, pois a mesma também é permitida pela norma técnica que regulamenta os projetos da região de Santa Maria. Sendo assim, a temperatura ϑ_m é de 850°C, segundo a tabela 2 da norma técnica ABNT NBR 15751. Além disso, a corrente de curto circuito máxima no ponto de entrega é estimada pela concessionária de distribuição, cujo valor é de 2,702kA.

$$2,702kA = 226,53 \times S_C \times \sqrt{\frac{1}{0,5} \times \ln\left(\frac{850^\circ - 40^\circ}{234 + 40^\circ} - 1\right)} \quad (22)$$

$$S_C = 10,29mm^2$$

De acordo com a norma técnica GED 2855, as interligações entre as hastes (condutor da malha), devem ser efetuadas através de cabo de cobre nu com seção mínima de 50mm², no mínimo com 60cm de profundidade. No caso em questão, o piso da cabine será assentado diretamente sobre o solo, sendo obrigatório a construção da malha de terra que interliga as hastes de aterramento dentro da própria cabine e antes da concretagem do piso. Essas hastes da malha de terra precisam ser acessíveis de dentro da cabine em pelo menos 4 pontos, através de aberturas no piso, protegidas por caixa de inspeção com dimensões de 30cm x 30cm ou manilha de diâmetro mínimo de 250mm e localizadas nos cantos internos da cabine. Além disso, é relevante ressaltar que as caixas de inspeção devem possuir tampas removíveis de forma a possibilitar a inspeção do aterramento. Então, a seção utilizada para os condutores da malha de terra, é de 50mm².

A norma deixa claro que em posto de transformação abrigado em alvenaria, no piso junto à parede, deve ser instalado um anel de aterramento de cabo de cobre nu 35mm², e que todos os equipamentos, ferragens e neutro devem ser aterrados junto a esse anel, que deve ser interligado à malha de aterramento em pelo menos 2 pontos, através das aberturas citadas anteriormente, com cabo de cobre nu 35mm². Além disso, todas as partes metálicas não

energizadas da cabine, devem ser interligadas a este anel, através de cabo de bitola mínima de 25mm² de cobre nu. Este cabo de cobre nu 35mm² que interliga o anel de aterramento à malha deve ser protegido por eletroduto de PVC rígido, conforme NBR 15465. Para tanto, sugere-se a preparação da estrutura concretada do pavimento com tela de aço CA 60, com diâmetro de 5mm, espaçamento entre fios de 10 cm, conforme as normas NBR 7481, NBR 5916 e NBR 7480. Esta tela de aço deverá ser interligada ao anel citado anteriormente através de rabichos de cabo de cobre nu 35 mm², em no mínimo 4 pontos, distantes um do outro de no máximo 3 metros.

O conjunto de medição deve ser aterrado à malha de aterramento, inclusive as partes metálicas não energizadas, (inclusive portas suplementares, isto é, em uso externo), sendo recomendado que este conjunto seja localizado sobre a malha para evitar choque por tensão de transferência. Este condutor de aterramento da porta deve ser de cobre isolado do tipo extraflexível com seção mínima de 25mm² e conectado por terminais em ambas as extremidades.

Ainda, é importante salientar sobre o aterramento do transformador, que segundo a norma ABNT NBR 15751, (2009, p.33),

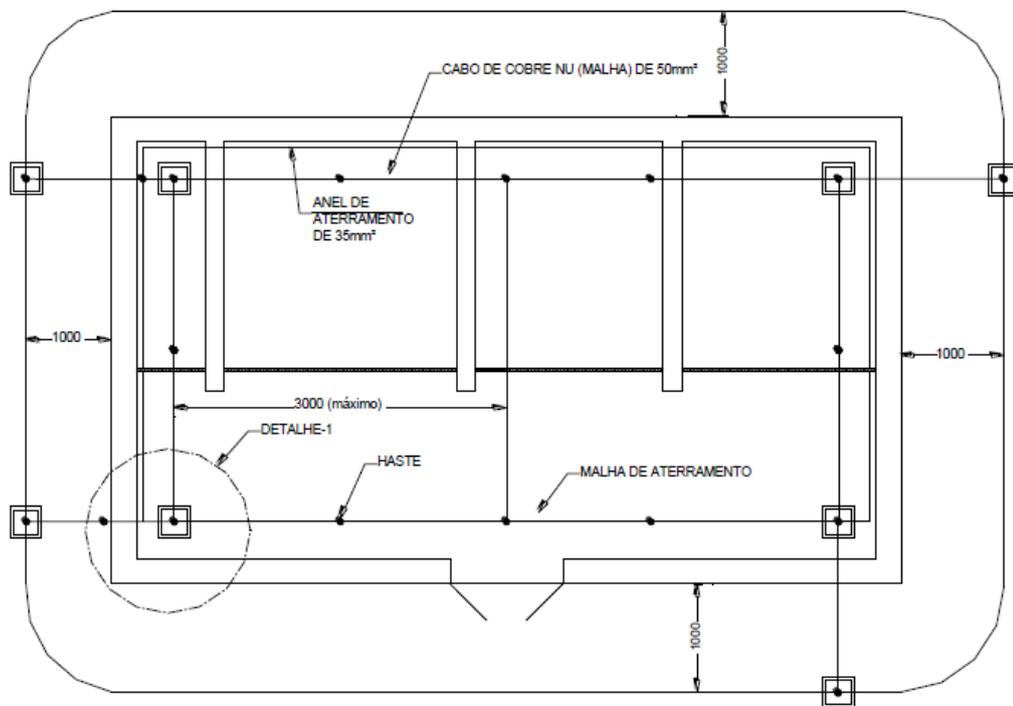
“Aterramento de transformadores de potência trifásicos
 Ligar as buchas de X_0 e de H_0 em pontos bem próximos na malha de terra.
 Ligar apenas um ponto de aterramento do tanque principal à malha de terra.
 Nos armários dos auxiliares do transformador que não possuam efetiva ligação com o tanque, devem ser providenciadas tais ligações, usando para tanto cordoalhas ou barras de cobre, fixadas às barras de sustentação, através de conectores apropriados.
 Ligar o ponto de aterramento do armário do comutador à malha de terra.
 O aterramento dos para-raios dos terciários depende de estudos específicos de cada instalação. Na ausência de informações (inclusive na placa do transformador), as buchas e para-raios dos terciários devem ser ligados diretamente à malha de terra através da conexão exotérmica.
 Ligar as extremidades dos trilhos entre si e daí para a malha de terra”.

4.4.3 Dimensionamento da malha

O dimensionamento da malha de uma subestação, em geral, utiliza uma geometria básica de acordo com o tamanho físico da subestação, sendo definido um valor para o comprimento e largura da malha, assim como um valor para a distância entre os cabos. Este tipo de geometria é bastante utilizada em subestações de distribuição, onde há um grande fluxo de pessoas próximo dos equipamentos. Como a subestação neste caso é predial, não havendo grande fluxo de pessoas no seu interior, torna-se viável realizar o sistema de aterramento utilizando as próprias ferragens do prédio como eletrodos de aterramento, além das 4 hastes no interior da subestação, não sendo necessário utilizar essa geometria. Os eletrodos serão as

próprias ferragens utilizadas nos pilares do prédio, sendo interligadas pelo cabo de cobre, seção 50mm^2 calculado anteriormente.

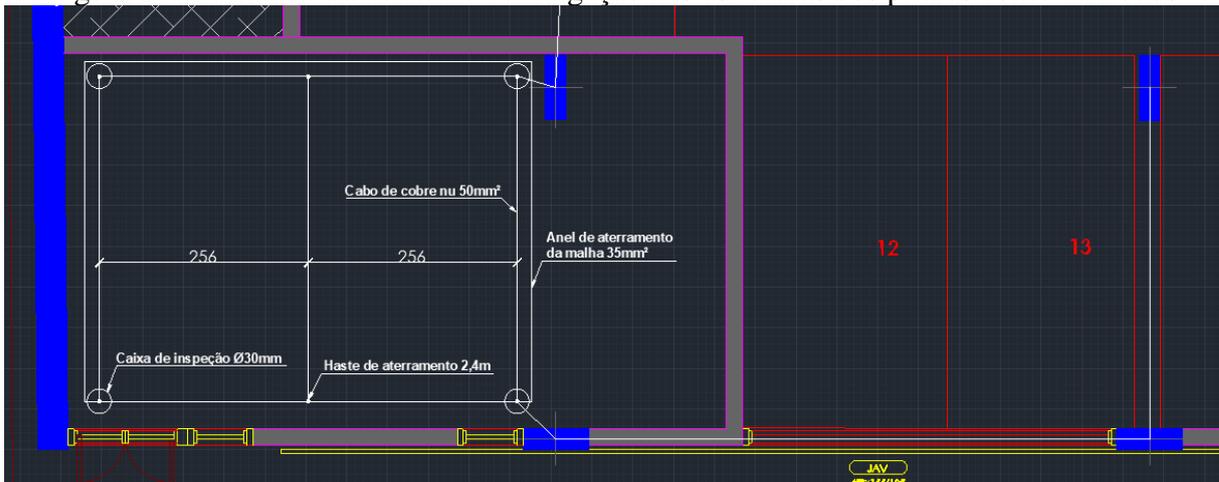
Figura 20– Exemplo de aterramento elétrico de posto de transformação abrigado



Fonte: (GED 2861, 2021, p.19).

Na figura 21, será apresentado um esboço de como ficaria a interligação destas 4 hastes que serão alocadas dentro do posto de transformação, que se tornam necessárias pois a norma técnica da RGE CPFL exige que a malha de terra precisa ser acessível de dentro da cabine em pelo menos 4 pontos, através de aberturas no piso, protegidas por caixa de inspeção. Pode-se visualizar também que é realizada a ligação de 2 hastes de aterramento aos pilares da subestação, que possivelmente seriam interligados aos outros pilares do prédio, afim de realizar o SPDA. Esta interconexão do sistema de aterramento à ferragem do prédio, afim de realizar o SPDA, é de escolha da construtora, podendo optar por fazê-la ou realizar o sistema com anel de aterramento ao redor da construção.

Figura 21– Malha de aterramento com ligação nas estruturas dos pilares como eletrodos



Fonte: (Autoria própria).

Segundo a norma técnica GED 2855 as hastes de aterramento devem ter comprimento mínimo de 2,40 metros, sendo aceitas hastes de aço zincado de 25mm x 25mm x 5mm, de aço zincado de diâmetro de 5/8” (16mm) e de aço revestido de cobre nu ou haste de cobre de diâmetro de 5/8” (16mm).

$$L_{total} = L_{cabo} + L_{hastes} \quad (23)$$

$$L_{total} = 22,2m + (2 \times 2,4m) = 27m \quad (24)$$

4.4.4 Resistência de aterramento da malha

Após feito o dimensionamento da malha e a medição da resistividade aparente do solo, deve-se calcular a resistência de aterramento da malha de acordo com esses parâmetros. A equação que será utilizada para esse cálculo está presente na bibliografia de Kindemann (1995, p. 141).

$$R_{malha} = \rho_a \times \left[\frac{1}{L_{total}} + \frac{1}{\sqrt{20 \times A_{malha}}} \times \left(1 + \frac{1}{1 + h \sqrt{\frac{20}{A_{malha}}}} \right) \right] \quad (25)$$

sendo:

ρ_a : resistividade aparente do solo;

L_{total} : comprimento total dos cabos da malha de aterramento;

A_{malha} : área total da malha;

h : profundidade da malha.

$$R_{malha} = 18,0955 \times \left[\frac{1}{27} + \frac{1}{\sqrt{20 \times (20,4532)}} \times \left(1 + \frac{1}{1 + 1 \sqrt{\frac{20}{(20,4532)}}} \right) \right] \quad (26)$$

$$R_{malha} = 2,014751\Omega \quad (27)$$

Esta resistência da malha é importante para a verificação do potencial máximo da malha que será feita no item a seguir.

De acordo com a norma técnica GED 2855, a resistência máxima de terra permissível é de 10 ohms em terreno úmido e de 25 ohms em terreno seco, sendo que devem ser utilizadas quantas hastes forem necessárias para chegar a este resultado, sendo que a mesma deve ser composta de no mínimo 3 hastes. A distância entre as hastes deve ser no mínimo igual ao seu comprimento.

4.4.5 Verificação do potencial máximo na malha

A verificação do potencial máximo na malha se dá por meio de cálculos que envolvem diversos fatores que serão apresentados a seguir. As equações que podem ser utilizadas para estes cálculos estão presentes na bibliografia de Kindemann (1995, p. 139-158).

$$R_{malha} \times I_{malha} \leq V_{toque\ máximo} \quad (28)$$

$$I_{malha} = ICC - \sum I_{cabo\ de\ cobertura\ das\ LT's} \quad (29)$$

A corrente de malha é menor que a corrente de curto circuito e dependem de fatores como a geometria da malha, o material dos condutores utilizados, a seção dos condutores fase e dos cabos de cobertura, resistividade do solo e a configuração das LT's conectadas à subestação. Dependendo dessas condições, a corrente de malha pode variar numa faixa larga entre 10% a 64% da corrente de curto-circuito fase-terra. Assim, foi escolhido o valor de 64% da corrente de curto-circuito para que seja projetado o aterramento para a pior situação.

$$I_{malha} = 0,64 * 2,072kA = 1,32608kA \quad (30)$$

Para o cálculo da tensão de toque utilizam-se alguns valores bases estipulados pela norma ABNR NBR 15751, sendo a resistência do corpo humano igual a 1000Ω , a resistividade superficial do solo igual a $150.000\Omega.m$ (concreto) e o tempo de duração do choque igual a 0,5s. As equações que serão apresentadas a seguir são da NBR 15751.

$$V_{toque} = (R_{ch} + 1,5 \times \rho_s) \times I_{choque} \quad (29)$$

$$I_{choque} = \frac{0,116}{\sqrt{t}} \quad (30)$$

sendo:

R_{ch} : resistência de corpo humano;

ρ_s : resistividade superficial do solo (concreto);

I_{choque} : corrente de choque pelo corpo humano;

t : tempo de duração do choque.

$$I_{choque} = \frac{0,116}{\sqrt{0,5}} = 0,1640487 \quad (31)$$

$$V_{toque\ máx} = (1.000 + 1,5 \times 150.000) \times 0,1640487 = 37,075kV \quad (32)$$

Ainda, é importante o cálculo desse potencial máximo admissível com um fator de correção devido à utilização do concreto na estratificação do solo.

$$C_s(h_s, K) = \frac{1}{0,96} \left[1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{K^n}{\sqrt{1 + \left(2n \frac{h_s}{0,08}\right)^2}} \right] \quad (33)$$

sendo:

$$K = \frac{\rho_a - \rho_s}{\rho_a + \rho_s} \quad (34)$$

ρ_s : resistividade do concreto;

h_s : profundidade ou espessura do concreto (0,1m).

$$K = \frac{18,0955 - 150.000}{18,0955 + 150.000} = -0,9997 \quad (35)$$

$$C_s(h_s, K) = \frac{1}{0,96} \left[1 + 2x \left(\frac{(-0,9997)}{2,69258} + \frac{(-0,9997)^2}{5,09902} + \frac{(-0,9997)^3}{7,56637} \right) \right] \quad (36)$$

$$C_s(h_s, K) = 0,40130 \quad (37)$$

O potencial de toque máximo pode ser calculado da seguinte forma:

$$V_{toque\ máximo} = (1000 + 1,5 \times C_s(h_s, K) \times \rho_s) \times \frac{0,116}{\sqrt{0,5}} = 14,9764kV \quad (40)$$

Assim, a verificação do potencial máximo na malha se torna possível tendo calculado todos os parâmetros necessários.

$$R_{malha} \times I_{malha} \leq V_{toque\ máximo} \quad (41)$$

$$2,014751\Omega \times 1,32608kA \leq 14,9764kV \quad (42)$$

$$2,6717210kV \leq 14,9764kV \quad (43)$$

Dessa forma, pode-se analisar o resultado como positivo para o projeto da malha de aterramento da forma que foi apresentado.

5 ANÁLISE DE RESULTADOS

Pode-se realizar uma análise de resultados em relação ao projeto de aterramento e escolhas feitas durante este trabalho. Este trabalho abordou um projeto de aterramento elétrico de um prédio misto com duas entradas de energia, uma em baixa tensão e uma em média tensão, sendo necessário a construção de uma subestação. Inicialmente foi feita a escolha de dois ramais em tensões de operação diferentes visando um menor custo da instalação, visto que a norma técnica CPFL da região permite que seja feita a alimentação do prédio desta forma. Essa análise se torna relevante pois para a concessionária de energia é mais viável trocar um transformador próximo ao prédio na via pública, para atender esse empreendimento e os demais comércios, do que a instalação de um transformador da concessionária dentro do prédio, que estaria alimentando apenas o mesmo. Realizar as duas entradas de energia em média tensão tornaria então o custo de execução mais elevado, visto que o cliente precisaria arcar com o custo de ambos os transformadores.

Uma discussão que se tornou relevante durante a escrita deste trabalho, com relação a entrada de energia, foi a possibilidade de realizar a entrada de baixa tensão de forma subterrânea. O projeto arquitetônico do prédio conta com uma área reservada para a subestação abrigada e uma sala de medidores para a parte do residencial, que se encontra longe da subestação. De forma simples, o prédio encontra-se em uma esquina, sendo que a subestação que faz parte integrante do prédio está a quase 60 metros de distância da sala de medidores do residencial. Como apresentado no trabalho, a norma técnica da região GED 119, permite a ligação por meio de dois ramais de entrada apenas em postes contíguos, sendo impossível realizar uma entrada de energia em cada rua. Porém, a norma técnica GED 10126 permite que uma entrada de energia subterrânea tenha no máximo 45 metros, sendo impossível realizar a entrada de energia em BT na rua em que está localizada a subestação e levar os cabos até a sala de medidores. Sendo assim, a solução mais viável para o projeto, seria uma alteração no projeto arquitetônico, alterando a localização da sala de medidores de BT para o lado da subestação.

Em relação ao projeto de aterramento elétrico, torna-se viável realizar o mesmo com apenas 6 hastes de aterramento abaixo da subestação, seguindo o exemplo da norma técnica GED 2861. Ainda, é importante lembrar que, este aterramento pode ser ligado as ferragens da estrutura do prédio para a realização do sistema de SPDA, tornando o custo deste sistema bem reduzido em relação a outra opção apresentada no trabalho. Ainda, sobre o sistema de aterramento, fica claro que a adoção do sistema TT na entrada de serviço do prédio e na instalação como um todo, se torna viável, pois esse sistema possui um ponto da alimentação

diretamente aterrado e eletrodos de aterramentos distintos do aterramento da alimentação, neste caso apresentando o neutro na instalação.

6 CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou um estudo do projeto de aterramento elétrico de um prédio misto com subestação abrigada na cidade de Santa Maria, Rio Grande do Sul. Para a realização deste trabalho, foi necessário realizar uma revisão bibliográfica acerca das subestações regulamentadas pela norma da concessionária da região, afim de realizar a escolha da que se adequasse melhor ao tipo de empreendimento. Além disso, foi necessário também um estudo sobre os tipos de aterramento exemplificados pela norma ABNT NBR 5410, visto que cada instalação, seja residencial, comercial ou industrial, adequa-se melhor a um tipo de sistema de aterramento.

Após essa revisão bibliográfica, foi realizado o dimensionamento da entrada de serviço, sendo feito os cálculos de carga instalada e demanda de toda a edificação, afim de definir como seriam as entradas de energia para o residencial e o comercial, sendo definidas como uma entrada de baixa tensão e uma entrada de média tensão, respectivamente. Foi realizado o cálculo do transformador que irá atender a unidade comercial e a definição do posto de transformação para esta instalação, que será abrigada junto a edificação. Por fim, foi realizada a medição da resistência do solo no local da edificação, com a utilização de um terrômetro, afim de realizar os cálculos para obter a resistividade do solo. Foi realizado o dimensionamento da seção do condutor da malha, através de equações matemáticas definidas pela norma ABNT NBR 15751 e o cálculo da resistência da malha de aterramento, através de variáveis pré-definidas. Após isso, foi feita a verificação do potencial máximo da malha para validação do projeto apresentado, que teve resultado positivo. Algumas análises foram feitas ao final do trabalho, justificando escolhas realizadas ao longo do projeto.

Ainda, o projeto do aterramento elétrico de qualquer instalação é indispensável, tornando-se um ótimo objeto de estudo e uma motivação para um melhor aprendizado que ajudará na vida profissional. Este trabalho proporcionou interligar conhecimentos de diversas áreas, contato com engenheiros e profissionais da RGE, além de uma familiarização com diversas normas técnicas.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15751**: sistemas de aterramento de subestações - requisitos. Rio de Janeiro, RJ, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410**: instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, RJ, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5419**: proteção contra descargas atmosféricas – Parte 3: danos físicos a estruturas e perigos à vida. Rio de Janeiro, RJ, 2015.
- CARLETO, N. Subestações elétricas – controle e processos industriais. Brasília, DF. Cap.1, p. 9-20. 2017.
- FILHO, J. M. Subestações de Alta Tensão. Rio de Janeiro, RJ. 525 p. 2021.
- FILHO, S. V. Aterramentos elétricos: conceitos básicos, técnicas de medição e instrumentação, filosofias de aterramento. São Paulo, SP155 p. 2002.
- KINDERMANN, G. Aterramento Elétrico. 3ª edição modificada e ampliada. Porto Alegre, RS. 176 p. 1995.
- NORMA TÉCNICA CPFL ENERGIA. **GED 10126**: fornecimento em tensão secundária de distribuição – Ramal de entrada subterrâneo. Santa Maria, SM, 2018.
- NORMA TÉCNICA CPFL ENERGIA. **GED 119**: fornecimento de energia elétrica a edifícios de uso coletivo. Santa Maria, SM, 2021.
- NORMA TÉCNICA CPFL ENERGIA. **GED 13**: fornecimento em tensão secundária de distribuição. Santa Maria, SM, 2020.
- NORMA TÉCNICA CPFL ENERGIA. **GED 2855**: fornecimento em tensão primária 15kV, 25kV e 34,5kV – volume 1. Santa Maria, SM, 2021.
- NORMA TÉCNICA CPFL ENERGIA. **GED 2856**: fornecimento em tensão primária 15kV, 25kV e 34,5kV – volume 2 – tabelas. Santa Maria, SM, 2020.
- NORMA TÉCNICA CPFL ENERGIA. **GED 2858**: fornecimento em tensão primária 15kV, 25kV e 34,5kV – volume 3 – anexos. Santa Maria, SM, 2020.
- NORMA TÉCNICA CPFL ENERGIA. **GED 2859**: fornecimento em tensão primária 15kV, 25kV e 34,5kV – volume 4.1 – desenhos. Santa Maria, SM, 2021.
- NORMA TÉCNICA CPFL ENERGIA. **GED 2861**: fornecimento em tensão primária 15kV, 25kV e 34,5kV – volume 4.2 – desenhos. Santa Maria, SM, 2021.