

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
ENGENHARIA ELÉTRICA

GUSTAVO BARBIERI

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DA CONSTRUÇÃO DE UMA
SUBESTAÇÃO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CORNÉLIO PROCÓPIO
2020

GUSTAVO BARBIERI

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DA CONTRUÇÃO DE UMA
SUBESTAÇÃO.**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado ao curso superior de Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Murilo da Silva.

CORNÉLIO PROCÓPIO
2020



Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Cornélio Procópio
Departamento Acadêmico de Elétrica
Curso de Engenharia Elétrica



FOLHA DE APROVAÇÃO

Gustavo Barbieri

ANÁLISE DA VIABILIDADE DA CONSTRUÇÃO DE UMA SUBESTAÇÃO

Trabalho de conclusão de curso apresentado às 09:00hs do dia 05/10/2020 como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista no programa de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Avaliadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Avaliadora considerou o trabalho aprovado.

Prof(a). Dr(a). Murilo da Silva - Presidente (Orientador)

Prof(a). Dr(a). Marcelo Favoretto Castoldi - (Membro)

Prof(a). Dr(a). Wagner Fontes Godoy - (Membro)

A folha de aprovação assinada encontra-se na coordenação do curso.

Dedico este trabalho aos meus pais, a minha família e aos meus amigos que sempre estiveram ao meu lado nessa trajetória.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente a Deus por ter tornado tudo isso possível.

Aos meus pais que sempre me apoiaram e me fortaleceram durante minha vida acadêmica.

Ao meu orientador Prof. Dr. Murilo da Silva, pelos ensinamentos e sabedoria com que me guiou nesta trajetória.

Aos meus amigos e colegas de sala.

Aos meus irmãos com os quais morei no apartamento 202.

Gostaria de deixar registrado também, o meu reconhecimento e agradecimento ao meu avô Ettore Barbieri, que me guiou por todo esse percurso e sempre olhará por mim de onde estiver.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

RESUMO

BARBIERI, Gustavo. **ANÁLISE DA VIABILIDADE DA CONSTRUÇÃO DE UMA SUBESTAÇÃO**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Elétrica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2020.

Este trabalho apresenta um estudo relativo à análise da viabilidade econômica da construção de uma subestação, por meio da comparação de custos de diferentes tipos de soluções (convencional e isolada a gás), custo total de cada solução e o valor do custo do metro quadrado do terreno necessário para a construção.

Palavras-chave: Energia Elétrica, Subestação, Viabilidade de construção, Minimização de custos.

ABSTRACT

BARBIERI, Gustavo. **FEASIBILITY ANALYSIS FOR THE CONSTRUCTION OF A SUBSTATION**. 2020. Final Paper – Electrical Engineering. Federal Technology University of Paraná. Cornélio Procópio, 2020.

This paper presents a study on the economic feasibility of building a substation by comparing the costs of different types of solutions (conventional and gas-isolated), the total cost of each solution and the value of the cost of the square meter of land needed for construction.

Keywords: Electrical Energy, Substation, Construction Feasibility, Minimization of costs.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquemático de elementos do SEP.....	1
Figura 2 - Exemplo de para-raios.....	6
Figura 3 - Exemplo de disjuntores.....	7
Figura 4 - Exemplo de chave seccionadora.....	8
Figura 5 - Exemplo de transformador de corrente.....	9
Figura 6 - Exemplo de transformador de potencial.....	10
Figura 7 - Exemplo de relé de proteção.....	10
Figura 8 - Exemplo de transformador de potência.....	11
Figura 9 - Exemplo de subestação isolada a ar.....	12
Figura 10 - Exemplo de subestação isolada a gás.....	13
Figura 11 - Disposição Física em uma subestação GIS.....	13
Figura 12 - Exemplo de uma subestação híbrida.....	14
Figura 13 - Área ocupada pela SE Itaim antes e depois da compactação.....	16
Figura 14 - Área ocupada pela SE Copacabana antes e depois da compactação.....	17
Figura 15 - Layout básico – Subestação GIS.....	19
Figura 16 - Layout básico – Subestação AIS.....	20
Figura 17 - Comparativo da área ocupada por ambas soluções.....	21

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Equipamentos de Pátio – Subestação GIS.....	19
Tabela 2 – Equipamentos de Pátio – Subestação AIS.....	20
Tabela 3 – Análise Comparativa dos Custos – Caso A.....	22
Tabela 4 – Análise Comparativa dos Custos – Caso B.....	23

LISTA DE SIGLAS

AIS – *Air Insulated Switchgear*

GIS - *Gas Insulated Switchgear*

SEP - Sistema Elétrico de Potência

SE – Subestação

SF6 - Hexafluoreto de Enxofre

TC – Transformador de Corrente

TP – Transformador de Potencial

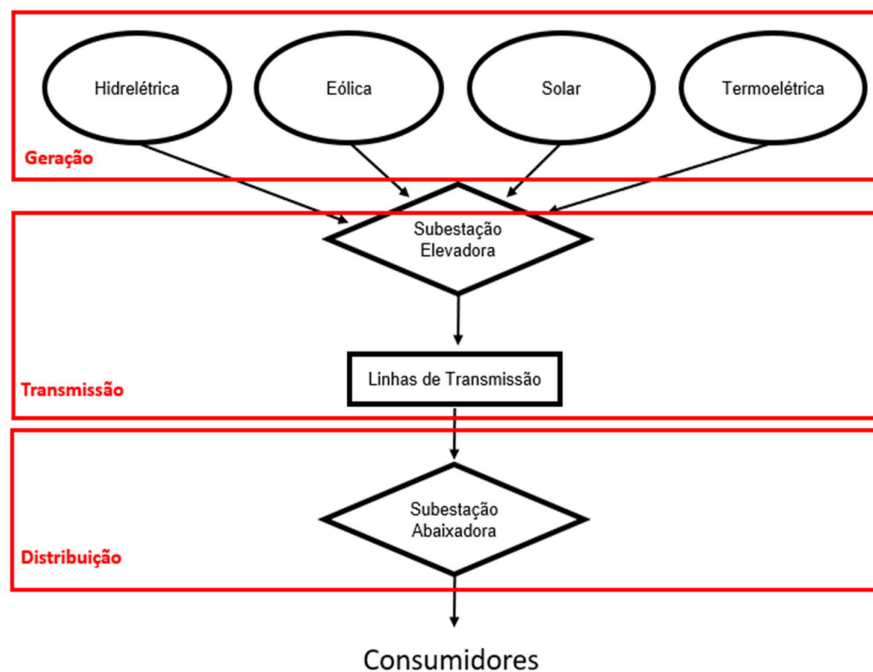
SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Justificativa.....	2
2. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo Geral	3
2.2. Objetivos Específicos	3
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	4
3.1. Subestações.....	4
3.1.1. Equipamentos de uma Subestação.....	5
3.2. Subestação Isolada a Ar (AIS).....	11
3.3. Subestação Isolada a Gás (GIS).....	12
3.4. Subestação Híbrida	14
3.5. Viabilidade da Construção de Subestações.....	15
4. EXEMPLOS DE SUBESTAÇÕES EXISTENTES	16
4.1. Exemplo de Subestação Híbrida.....	16
4.2. Exemplo de Subestação Isolada a Gás.....	17
5. DESENVOLVIMENTO.....	18
5.1. Caso A.....	22
5.2. Caso B.....	23
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	24
REFERÊNCIAS.....	25

1. INTRODUÇÃO

A energia elétrica é essencial para o bem-estar e desenvolvimento da humanidade e ela é diretamente proporcional ao aumento populacional e econômico do planeta. Para que os consumidores tenham acesso à energia elétrica, o Sistema Elétrico de Potência (SEP) deve realizar sua função de forma eficaz. Sendo assim, o mesmo pode ser dividido em três principais elementos: geração, distribuição e transmissão de energia elétrica, conforme representado na Figura 1 (ELGERD, 1976).

Figura 1– Esquemático de elementos do SEP



Fonte: Autoria própria.

O SEP tem como objetivo gerar energia elétrica em quantidades suficientes, transmitir e distribuir aos consumidores, necessitando modificar as tensões. Essas variações são obtidas por meio das subestações elétricas (SEs), possibilitando o envio adequado de energia elétrica. (PRAZERES, 2010).

Essas subestações elétricas podem ser construídas de formas distintas quanto a isolamento, sendo elas, isoladas a ar, isoladas a gás SF6 e híbridas (combinação das duas anteriores). A utilização do gás SF6, em isolamento

elétricas, foi uma tecnologia desenvolvida por volta da década de 60 e 70, e foi utilizada para a construção de novas subestações onde o local era limitado (MUZY, 2012).

Para a construção de uma nova subestação deve-se levar em conta vários fatores, dentre eles pode-se destacar: meio ambiente, espaço e recursos financeiros. No que diz respeito ao fator espaço, se analisarmos uma subestação compacta ocupa cerca de 20 a 30% da área de uma subestação convencional, enquanto em uma subestação híbrida a área ocupada é entre 40 e 50% (MEIRELES, 2010).

1.1. Justificativa

Com a importância das subestações e seu elevado valor de aquisição, o presente trabalho propõe a análise de custos da implementação de uma nova subestação em dois cenários, em um local onde o valor do terreno por metro quadrado é relativamente baixo e segundo onde o valor do terreno por metro quadrado é elevado. Sendo que em ambos os cenários será analisada dois tipos de subestações (convencional e compacta).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade da construção de uma subestação com diferentes tipos de isolamento e em locais distintos, analisando os custos de implementação e a influência do valor do metro quadrado em cada solução.

2.2. Objetivos Específicos

Visando alcançar o objetivo principal deste trabalho, foram definidos objetivos específicos, que são apresentados nos tópicos a seguir:

- Definir as premissas para a análise dos custos da subestação;
- Comparar os custos de cada soluções em um determinado local onde o valor do terreno por metro quadrado é de baixo valor aquisitivo;
- Comparar os custos de cada soluções em um determinado local onde o valor do terreno por metro quadrado é de alto valor aquisitivo;
- Analisar os resultados obtidos.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. Subestações

Uma subestação (SE) pode ser definida como parte de um sistema de potência, concentrada em um dado local, compreendendo primordialmente as extremidades de linhas de transmissão e/ou distribuição, com os respectivos dispositivos de manobra, controle e proteção, incluindo obras civis e estruturas de montagem, podendo incluir também transformadores, conversores e/ou outros equipamentos (NBR 5460/1992).

Segundo Muzy (2012) as subestações podem ser classificadas de diferentes formas, dentre elas estão quanto ao nível de tensão, quanto a relação entre tensão de entrada e tensão de saída, quanto a função, quanto ao tipo de instalação e quanto ao tipo de isolamento.

Classificação quanto ao nível de tensão

- Baixa Tensão (BT): Tensão nominal até 1kV;
- Média Tensão (MT): Tensão nominal até 34,5kV;
- Alta Tensão (AT): Tensão nominal até 230kV;
- Extra Alta Tensão (EAT): Tensão nominal acima 230kV;

Classificação quanto à relação de tensão de entrada e tensão de saída

- Subestação Seccionadora ou de Manobra: Interliga diferentes sistemas do mesmo nível de tensão.
- Subestação Transformadora: Converte tensão em um nível diferente, podendo ser uma SE transformadora elevadora ou uma SE transformadora abaixadora.

A classificação quanto ao tipo de instalação:

- Desabrigada ou ao tempo: Instalada em ar livre, exposta às condições atmosféricas como chuva, poluição, vento, sol, maresia, entre outros.
- Abrigada: Instalada em edificações

Classificação quanto ao isolamento

- Convencional ou isolada a ar: É aquela que o meio isolante entre os equipamentos é o ar atmosférico.
- Isolada a gás ou compacta: É aquela que o meio isolante entre os equipamentos é um gás diferente do ar atmosférico, o mais utilizado é o SF6.
- Híbrida: É aquela que utilizada os dois tipos de isolamento no mesmo projeto, tanto equipamentos isolados a ar quanto equipamentos isolados a gás

3.1.1. Equipamentos de uma Subestação

PARA-RAIO

Para-raios são equipamentos que reduzem o nível de sobretensão a valores compatíveis com os suportados pelos equipamentos da subestação. São equipamentos destinados a proteger o sistema elétrico contra sobretensões transitórias de manobra ou aquelas provenientes de descargas atmosféricas (raios), ou seja, sobretensões de curta duração (MAMEDE,2009).

Em subestações os para-raios estão localizados nas entradas das linhas de transmissão, entradas dos alimentadores, no barramento e na alta e na baixa dos transformadores. Na Figura 2, tem-se alguns exemplos de para-raios.

Principais fabricantes: ABB, Pfiffner, Hubbell, Siemens, Tyco.

Figura 2- Exemplo de para-raios.



Fonte: ABB, 2020.

DISJUNTOR

Os disjuntores são definidos como sendo dispositivos mecânicos destinados a conduzir e interromper correntes sob condições normais e anormais de operação, tais como as provenientes de um curto-circuito. Esse dispositivo é projetado para atuar sob carga (PRAZERES, 2010).

Os disjuntores não são dispositivos inteligentes, eles precisam estarem associados a relés de proteção, para que seja enviado o comando para sua abertura. Na Figura 3, tem-se um exemplo de disjuntor de alta tensão.

Principais fabricantes: ABB, Siemens, GE.

Figura 3- Exemplo de disjuntores.



Fonte: General Eletric Company, 2020.

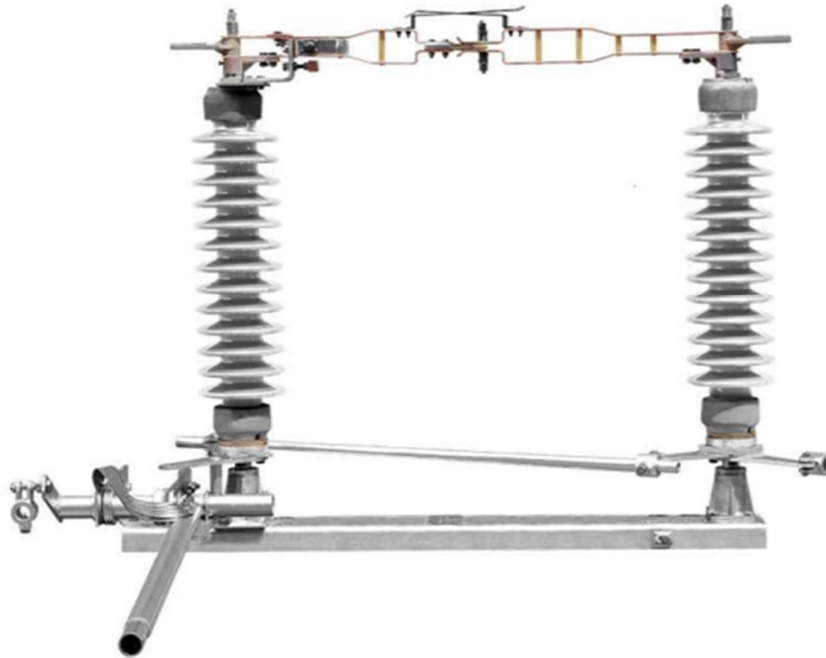
CHAVE SECCIONADORA

A chave seccionadora é um dispositivo mecânico de manobra capaz de isolar um circuito elétrico. Também é capaz de conduzir correntes sob condições normais do circuito e, durante um tempo especificado, correntes sob condições anormais, como curto-circuito (ABNT NBR 6935:1885).

Chaves seccionadoras são equipamentos projetados para manobrar sem carga, ou seja, é necessário que o disjuntor esteja aberto para que seja possível manobrar. Uma das principais funções da chave seccionadora é garantir uma distância segura de isolamento, garantindo que após a abertura deste equipamento o circuito está mecanicamente e visualmente isolado. (PRAZERES, 2010). Na Figura 4, tem-se um exemplo de chave seccionadora.

Principais fabricantes: Siemens, Hubbell, WEG, Sigma Chaves.

Figura 4- Exemplo de chave seccionadora.



Fonte: Delmar, 2020.

TRANSFORMADOR DE INSTRUMENTAÇÃO

Os dispositivos de proteção ou medição precisam receber informação sobre as grandezas elétricas dos equipamentos a serem protegidos. Essas variáveis por razões técnicas, econômicas e de segurança não podem ser obtidas diretamente na alimentação de alta tensão, é preciso utilizar dispositivos intermediários, tais como Transformadores de Potencial (TP) e Transformadores de Corrente (TC).

Principais fabricantes: Pfiffner, Balteau, Artech, GE

- **TRANSFORMADOR DE CORRENTE (TC)**

O transformador de corrente é um transformador de instrumentos, cujo enrolamento primário é conectado em série em um circuito, reproduz em seu secundário a corrente do seu circuito primário em uma proporção conhecida e adequada para uso de instrumentos de medição, controle e proteção (ABNT NBR 6856:2015).

O TC é um equipamento destinado a evitar conexão direta de instrumentos de medição e proteção nos circuitos de corrente alternada de alta tensão. Com isso isola o circuito de alta tensão e adapta a grandeza a medir, no caso a corrente, em uma proporção segura e favorável. Na Figura 5, tem-se um exemplo de transformador de corrente.

Figura 5- Exemplo de transformador de corrente.



Fonte: Artech, 2020.

- **TRANSFORMADOR DE POTENCIAL (TP)**

O transformador de potencial é um transformador de instrumentos, cujo enrolamento primário é conectado em derivação com um circuito elétrico, que se destina a reproduzir no seu circuito secundário a tensão do circuito primário uma proporção definida, conhecida e adequada para uso de instrumentos de medição, controle e proteção (ABNT NBR 6855:1992).

O TP é um equipamento destinado a evitar conexão direta de instrumentos de medição e proteção nos circuitos de tensão alternada de alta tensão. Com isso isola o circuito de alta tensão e adapta a grandeza a medir, no caso a tensão, em uma proporção segura e favorável. Na Figura 6, tem-se um exemplo de transformador de potencial.

Figura 6- Exemplo de transformador de potencial.



Fonte: Artech, 2020.

RELÉ DE PROTEÇÃO

Os relés de proteção e controle compõe parte do Sistema de Proteção, Controle e Supervisão de uma SE. São responsáveis por detectar condições anormais de operação através de informações enviadas pelos transformadores de instrumentação, e atuar, de modo adequado e seletivo as ações para isolar o problema (IEEE 100, 2000). Na Figura 7, tem-se um exemplo de um relé de proteção.

Principais fabricantes: ABB, Schweitzer, Schneider, Siemens

Figura 7- Exemplo de relé de proteção.



Fonte: Schweitzer, 2020.

TRANSFORMADOR DE POTÊNCIA

O transformador de potência pode ser definido como um equipamento estático com dois ou mais enrolamentos, que por indução eletromagnética, converte tensão e corrente alternadas em valores geralmente diferentes, mas à mesma frequência, e esta conversão tem como objetivo transmissão de potência elétrica (ABNT NBR 5356-1:2007). Na Figura 8, tem-se um exemplo de transformador de potência.

Principais fabricantes: ABB, WEG, TSEA, Comtrafo

Figura 8 - Exemplo de transformador de potência.



Fonte: TSEA, 2020.

3.2. Subestação Isolada a Ar (AIS)

Subestações convencionais ou isoladas a ar, no inglês *Air Insulated Switchgear* (AIS), são subestações em que o meio isolante dos equipamentos é o ar atmosférico. Esse tipo de subestação é predominante no sistema elétrico brasileiro (MEIRELES,2010).

Para que essa isolação ocorra de maneira segura, a ABNT padronizou distanciamentos mínimos entre as partes energizadas de uma subestação, para garantir o isolamento pelo ar (ABNT NBR 5460). Na Figura 9, tem-se um exemplo de subestação isolada a ar.

Figura 9 - Exemplo de subestação isolada a ar (AIS).



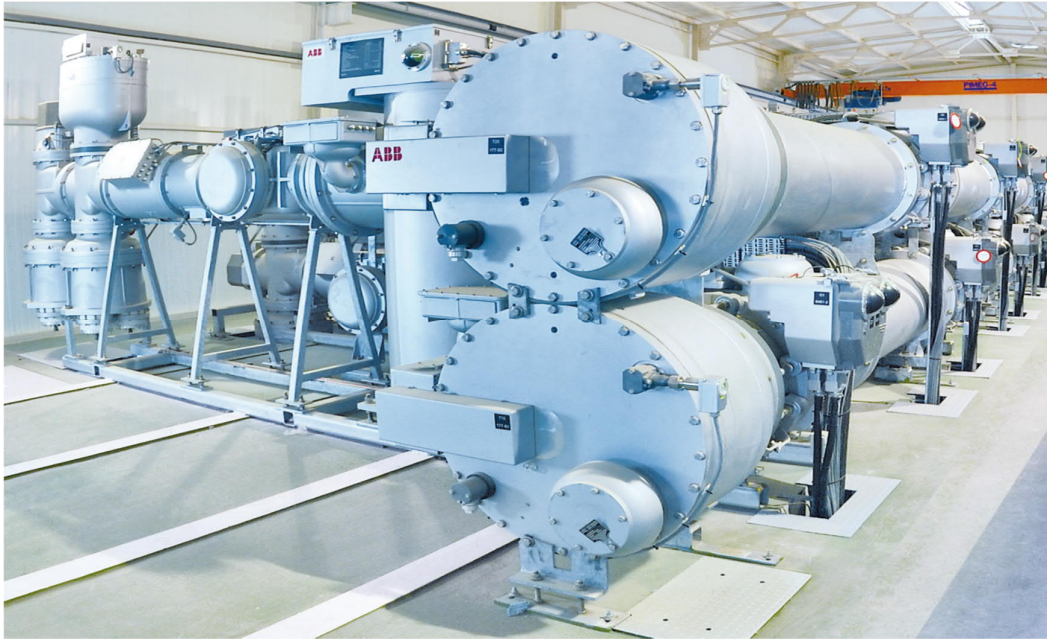
Fonte: SIEMENS, 2020.

3.3. Subestação Isolada a Gás (GIS)

Subestações Isoladas a Gás ou Compactas, no inglês *Gas Insulated Switchgear* (GIS), são caracterizadas pela diminuição significativa do espaçamento entre os equipamentos. Os equipamentos são agrupados em módulos, onde são preenchidos por um gás que é responsável pelo isolamento elétrico. Isso permite a redução significativa do espaço entre os dispositivos, com isso área ocupada de uma subestação compacta pode ser de 20 a 30% de uma subestação convencional (MEIRELES,2010).

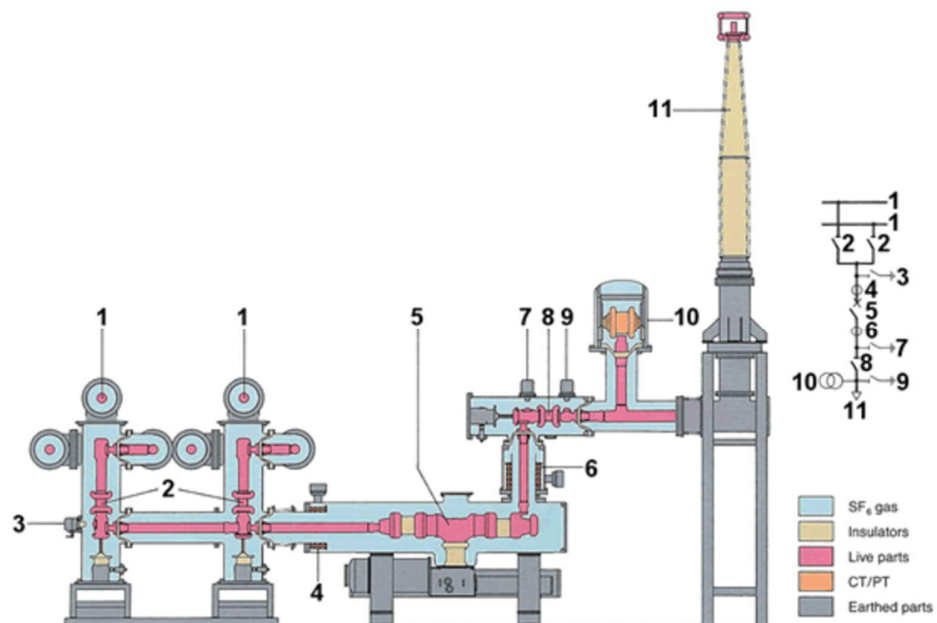
O gás mais utilizado para isolamento em subestações GIS é o SF₆, hexafluoreto de enxofre, um gás estável, inerte, transparente, inodoro e não inflamável. Para fazer o isolamento, este gás é pressurizado a uma pressão entre 3 a 5 atmosferas, e assim sua propriedade dielétrica fica cerca de 10 vezes maior do que o ar (MEIRELES,2010). Nas Figuras 10 e 11, tem-se um exemplo de subestação isolada a gás e a disposição física interna da mesma.

Figura 10 - Exemplo de subestação isolada a gás (GIS).



Fonte: ABB, 2020.

Figura 11 - Disposição física em uma subestação GIS.



Fonte: Toshiba, 2006 apud Paulo, 2006.

3.4. Subestação Híbrida

As subestações híbridas são a combinação das duas soluções apresentadas anteriormente, ela combina equipamentos com isolamento a ar com equipamentos de isolamento a SF₆. Essa tecnologia é responsável pela compactação de equipamentos de manobra (chave seccionadora e disjuntor) e equipamentos de medição (transformador de potencial e corrente) em módulos isolados a gás e permite a conexão externa com equipamentos convencionais (MEIRELES, 2010)

Neste tipo de solução, a área da subestação é menor que uma solução convencional e maior que uma subestação isolada a gás. Entretanto, para soluções específicas sem limitação de espaço, a solução híbrida é economicamente mais viável pois possui mais flexibilidade de arranjos (GONÇALVES; KAJIKAWA, 2008). Na Figura 12, tem-se um exemplo de subestação híbrida.

Figura 12 - Exemplo de subestação híbrida.



Fonte: MEIRELES, 2010.

3.5. Viabilidade da Construção de Subestações

Segundo (Meireles, 2010), existem vários fatores que influenciam para a construção do melhor arranjo de subestação para um determinado local. Dentre os fatores pode-se destacar: meio ambiente, espaço, recursos financeiros e técnicos.

Para avaliar os fatores relacionados ao meio ambiente, deve-se levar em consideração os impactos ambientais causados pela construção do empreendimento, como por exemplo os danos causados pela poluição visual por conta da exposição dos equipamentos próxima a áreas urbanas, e os impactos causados pela poluição atmosférica, pois equipamentos AIS necessitam de limpezas constantes e equipamentos GIS não necessitam desse tipo de manutenção, pois não tem contato com o meio externo.

Quanto à avaliação dos fatores relacionados ao espaço, verificamos que os terrenos urbanos têm alto grau de ocupação e preços elevados. Por exemplo, uma subestação GIS ocupa cerca de 20 a 30% da área de uma subestação AIS, enquanto uma subestação híbrida a área ocupada é entre 40 e 50%. Estes fatores, portanto, são imprescindíveis na escolha da melhor solução.

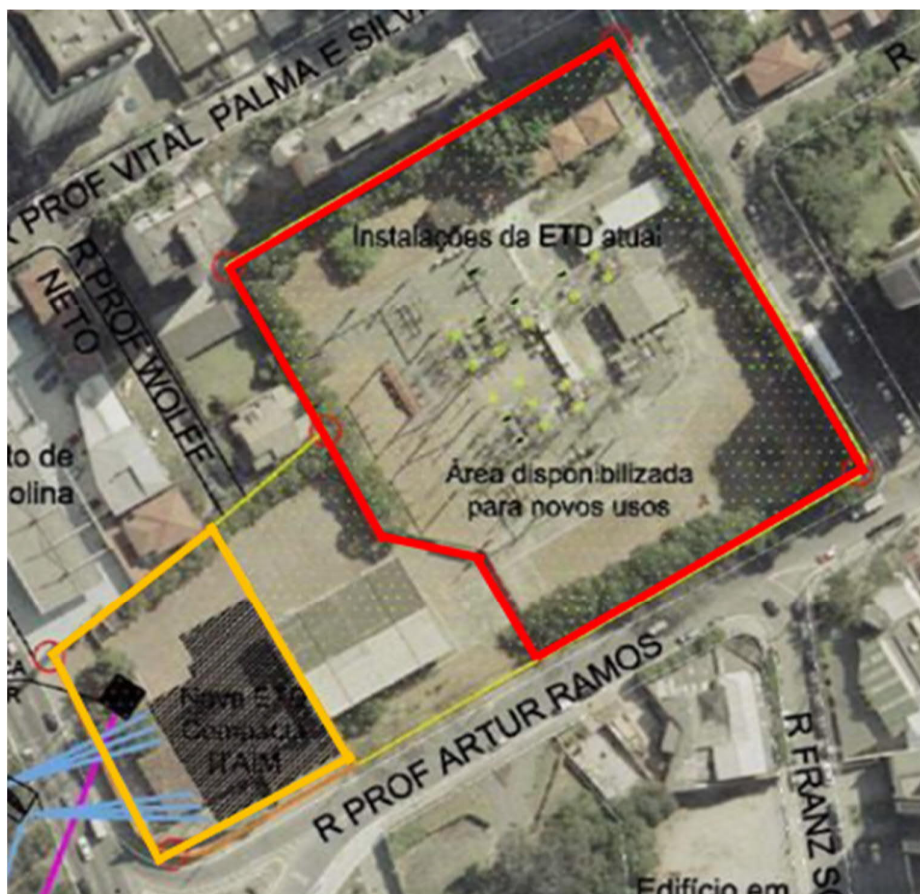
Por fim, avaliando o fator de recursos financeiros, pode-se destacar, principalmente, o custo do m² da região onde será construída a subestação, que, no caso de regiões altamente valorizadas, torna inviável a construção de uma subestação convencional. Também pode-se analisar o custo do investimento (equipamentos e obras civis) de cada solução.

4. EXEMPLOS DE SUBESTAÇÕES EXISTENTES

4.1. Exemplo de Subestação Híbrida

Na Figura 13, tem-se um exemplo de subestação que teve alta influência do fator de recurso financeiro, a **SE Itaim** (AES Eletropaulo). Tratava-se de uma subestação convencional com área de 10.000m² (destacada em vermelho), localizada em um bairro onde o valor dos terrenos é elevado. Foram realizados os estudos pertinentes, tendo sido constatado que a melhor solução seria a construção de uma subestação híbrida, reduzindo, assim, a área utilizada. A SE Itaim passou a ter 2.000m² (destacada em laranja), e o restante do espaço tornou-se de uso residencial e comercial (GONÇALVES; KAJIKAWA, 2008).

Figura 13 – Área ocupada pela SE Itaim antes e depois da compactação.



Fonte: Adaptado de GONÇALVES; KAJIKAWA, 2008.

4.2. Exemplo de Subestação Isolada a Gás

Na Figura 14, tem-se outro exemplo de subestação que teve alta influência do fator de recurso financeiro, a **SE Copacabana**. Conforme o exemplo anterior, tratava-se de uma subestação convencional com área de aproximadamente 3.000m² (destacada em vermelho), localizada em um bairro onde o valor dos m² é elevado. Foram realizados os estudos pertinentes, tendo sido constatado que a melhor solução seria a construção de uma subestação GIS, reduzindo, assim, a área utilizada. A SE Copacabana passou a ter 700m² (destacada em laranja), e o restante do espaço tornou-se de uso residencial e comercial (LINS, 2015).

Figura 14 – Área ocupada pela SE Copacabana antes e depois da compactação.



Fonte: Adaptado de GOOGLE MAPS, 2020.

5. DESENVOLVIMENTO

Para o desenvolvimento deste trabalho, foram elaboradas duas soluções para a construção da subestação com duas entradas de linha de transmissão de 500kV e dois transformadores 500/34,5kV com potência igual a 130MVA. A primeira é uma solução totalmente AIS e a segunda é uma solução GIS. Em seguida foi analisado qual a melhor solução dependendo do local a ser implementada a subestação.

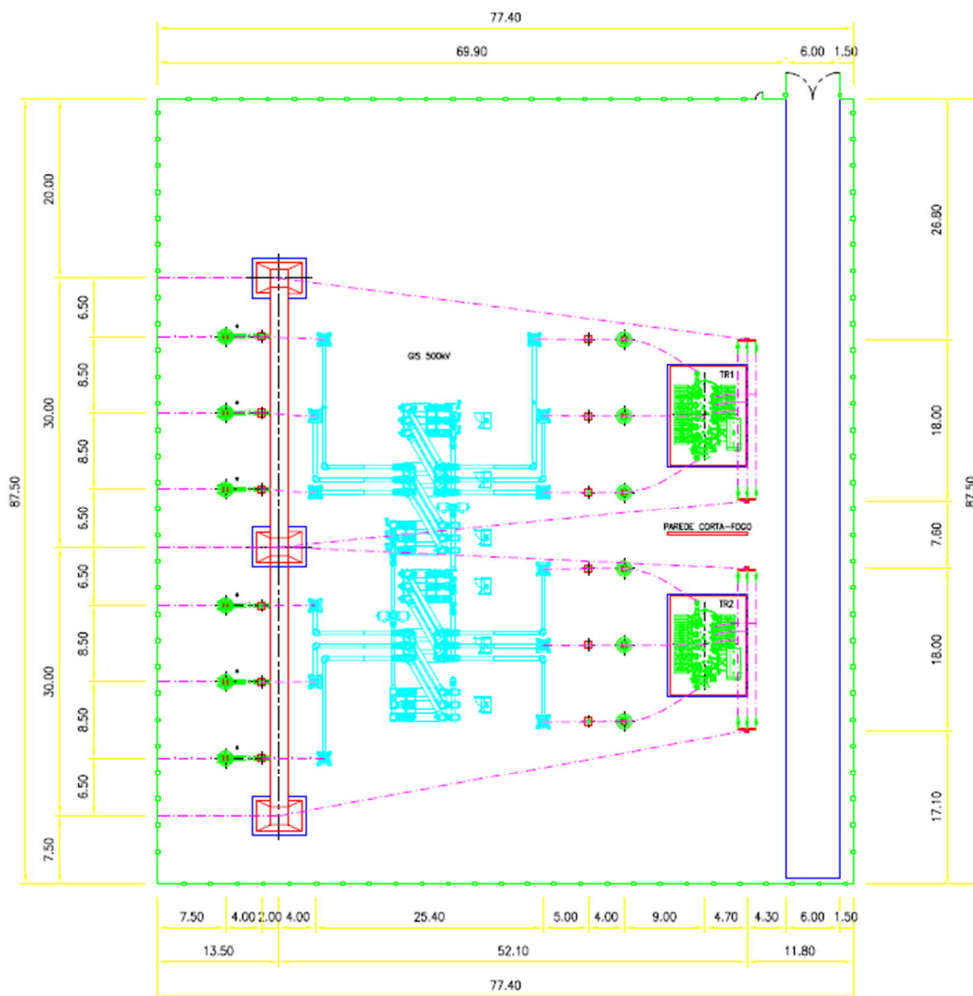
Em cada solução que foram desenvolvidos utilizando a Ferramenta *AutoCAD* o Layout Básico (Figuras 15 e 16). Após foram feitas as análises de quantidade de equipamentos de pátio e suas especificações (Tabelas 1 e 2) e também uma análise comparativa da área ocupada por cada solução (Figura 17). Por último foi feita a estimativa de custos dos itens da subestação (Tabelas 3 e 4).

Os itens analisados neste trabalho, em ambos os casos, foi primeiramente o custo do terreno utilizado para a construção da subestação, ou seja, o custo do metro quadrado médio multiplicado pela área da subestação, o custo total dos equipamentos de pátio, o custo dos projetos, o custo do gerenciamento da obra, e por fim o custo estimado para a execução de obra civil e montagem eletromecânica.

A primeira análise (Caso A) foi a definição da melhor solução em uma região em que o custo do terreno por metro quadrado é relativamente baixo. A segunda análise (Caso B) foi a definição da melhor solução em uma região em que o custo do terreno por metro quadrado é elevado.

Nesta análise não será mostrada com valores, mas sim com porcentagem de cada item no valor global do empreendimento. E por fim foi feito um comparativo entre as soluções e foi definida a melhor solução para cada caso.

Figura 15 – Layout básico – Subestação GIS



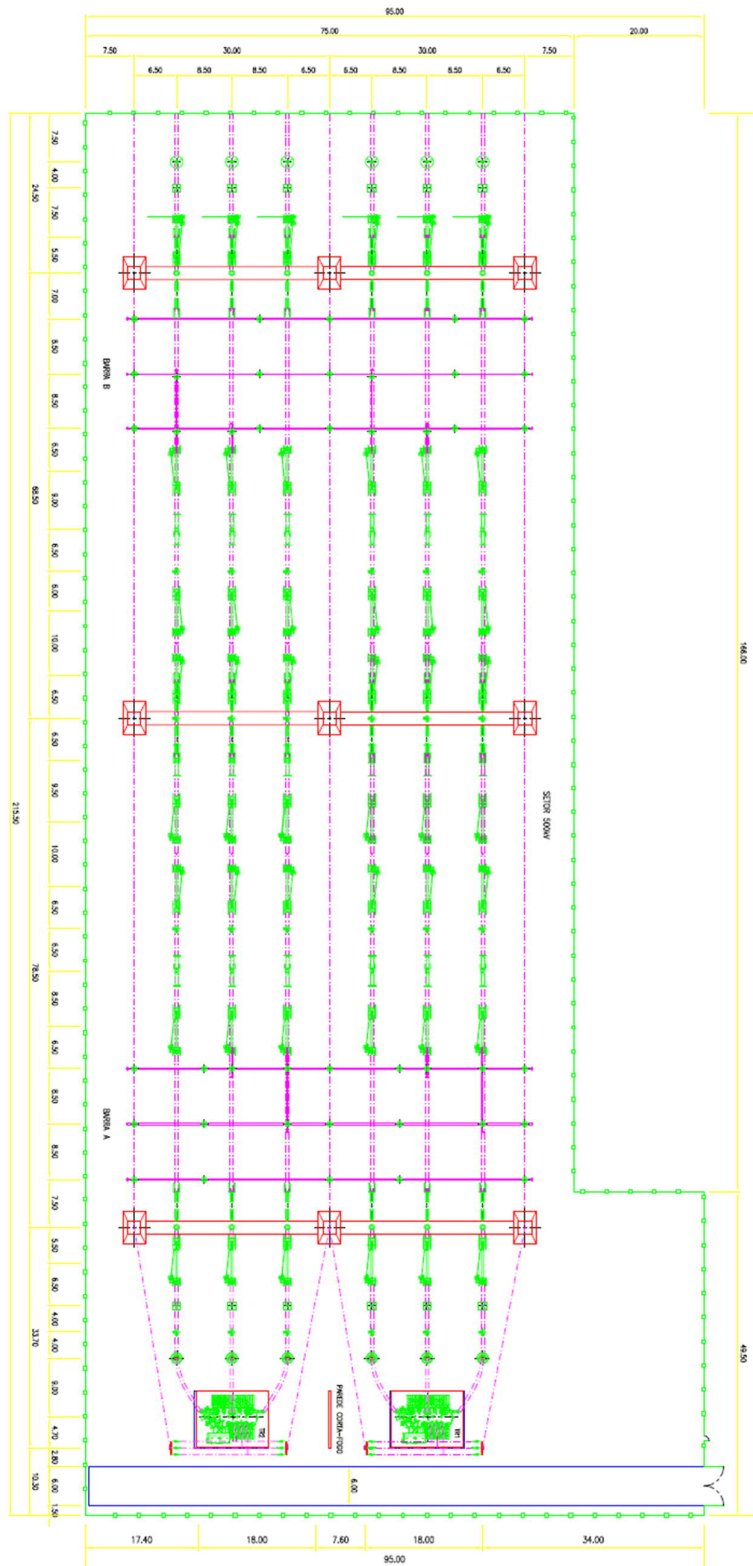
Fonte: Autoria própria

Tabela 1 – Equipamentos de Pátio – Subestação GIS

Quantidade	Descrição
12	Para Raios 550kV
01	Módulo GIS 500kV – Com 6 Disjuntores, 16 Chaves Seccionadoras e 34 Transformadores de Corrente.
12	Transformador de Potencial 500kV
02	Transformador de força trifásico 500/34,5kV – 100/130MVA

Fonte: Autoria própria

Figura 16 – Layout básico subestação AIS



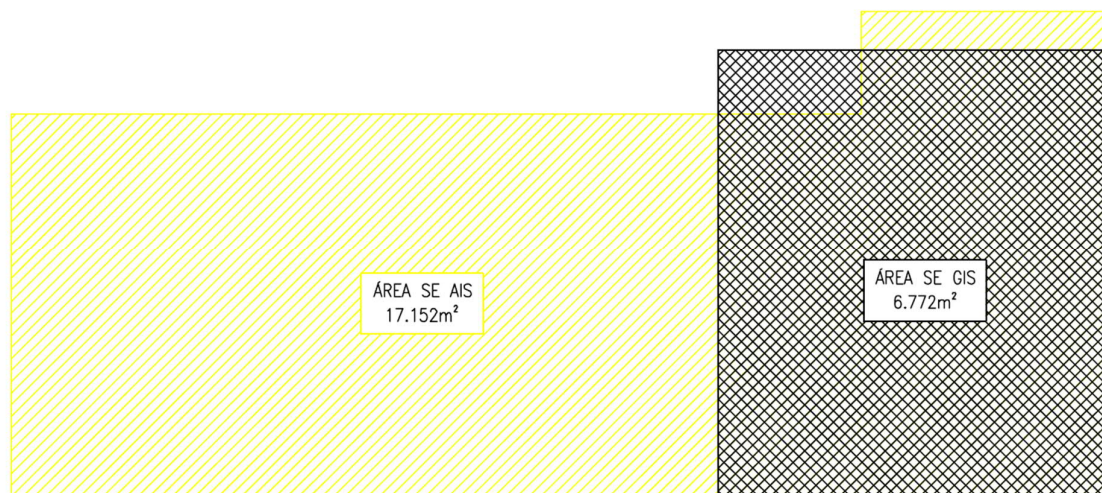
Fonte: Autoria própria

Tabela 2 – Equipamentos de Pátio – Subestação AIS

Quantidade	Descrição
12	Para Raios 550kV
06	Disjuntor 550 kV - 3150A - 40kA
02	Chave Seccionadora 550 kV, tripolar, com lâmina de terra
14	Chave Seccionadora 550 kV, tripolar, sem lâmina de terra
12	Transformador de Potencial 500kV
24	Transformador de Corrente 500kV
02	Transformador de força trifásico 500/34,5kV – 100/130MVA

Fonte: Autoria própria

Figura 17 – Comparativo da área ocupada por ambas soluções.



Fonte: Autoria própria.

5.1. Caso A

Para o Caso A, foi analisado a implementação da melhor solução em um determinado local onde o custo do terreno por metro quadrado é baixo valor aquisitivo, conforme a Tabela 3 abaixo.

Tabela 3 – Análise comparativa dos custos – Caso A

Descrição	SE AIS	SE GIS
Equipamentos	49,9%	85,9%
Projetos	3,7%	3,9%
Obra Civil e Montagem Eletromecânica	26,4%	17,2%
Gerenciamento	7,7%	7,2%
Terreno	12,3%	4,3%
Total	100,0%	118,5%

Fonte: Autoria própria.

Pode-se observar analisando a Tabela 3, o custo de equipamento da SE GIS é expressivamente maior se compararmos com a SE AIS, por se tratar de equipamento com valor agregado maior. Em contrapartida, os custos obra civil, montagem eletromecânica e terreno são menores, pois, a área ocupada pela SE GIS é menor e a obra menos complexa. Por fim, os custos de projetos e gerenciamentos são praticamente os mesmos, pois possuem o mesmo nível de complexidade e o mesmo tempo de execução.

Pode-se concluir que para esse caso, em uma região de baixo valor para aquisição do terreno, o custo da construção de uma subestação isolada a gás foi aproximadamente 20% maior que a subestação convencional. Sendo assim a melhor solução do ponto de vista custo é a subestação AIS.

5.2. Caso B

Para o Caso B, foi analisado a implementação da melhor solução em um determinado local onde o custo do terreno por metro quadrado é elevado, conforme a Tabela 4 abaixo:

Tabela 4 – Análise comparativa dos custos – Caso B

Descrição	SE AIS	SE GIS
Equipamentos	26,8%	46,2%
Projetos	2,0%	2,1%
Obra Civil e Montagem Eletromecânica	14,2%	9,2%
Gerenciamento	4,2%	3,9%
Terreno	52,8%	18,3%
Total	100,0%	79,7%

Fonte: Autoria própria.

Feita a mesma análise do Caso anterior para a Tabela 4, foi possível analisar que os custos de equipamentos permanecem superiores para a SE GIS, o custo de obra civil e montagem eletromecânica continua menor para a SE GIS e os custos de projetos e gerenciamento permanecem iguais. Por fim, o custo de terreno é expressivamente maior para a SE AIS, pois o metro quadrado médio é elevado e a área ocupada por essa solução é maior.

Assim pode-se concluir que para esse caso, em uma região de alto valor para aquisição do terreno, o custo da construção de uma subestação isolada a gás foi aproximadamente 20% menor que a subestação convencional. Sendo assim a melhor solução do ponto de vista de custo é a subestação GIS.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho buscou-se uma análise da viabilidade da construção de uma subestação 500/34,5kV levando em conta o custo de aquisição do terreno e os custos de equipamentos e serviços. Também foi analisado a área ocupada por cada solução e que a subestação isolada a gás ocupa uma área aproximadamente 60% menor da área de uma subestação convencional.

Para a análise, não foram considerado aspectos técnicos ligados a operação, falhas, manutenção. Também não foi analisado os impactos ambientais para a construção de cada solução.

Por meio dos resultados apresentados, conclui-se que para esse estudo, em uma região de alto valor para aquisição do terreno, a melhor solução do ponto de vista de custo é a subestação isolada a gás (GIS) e em uma região de baixo valor para aquisição do terreno, a melhor solução do ponto de vista de custo é a subestação convencional (AIS).

Uma sugestão para futuros trabalhos é uma análise comparando os custos de uma solução híbrida.

REFERÊNCIAS

ELGERD, O. I. **Introdução à Teoria de Sistemas de Energia Elétrica**. McGraw-Hill do Brasil, 1976.

MEIRELES, D. **Aplicabilidade de Subestações Compactas Isoladas a Gás em Grandes Centros Urbanos: Proposta de Procedimento Aplicado à Expansão do Sistema**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (PPGEE) – Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, 2010.

KAJIKAWA, C. O.; GONÇALVES, F. A., **Aplicação de Tecnologia Híbrida em Subestação Compacta Abrigada**. 18º Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica (SENDI), Olinda-PE, 2008.

MUZY, G. L. C. O., **Subestações Elétricas**. Projeto de Conclusão de Curso (Graduação) – Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

PAULO, A. R. G. S., **Diagnóstico de Descargas Parciais em Subestações Isoladas a Gás SF6 Utilizando Redes Neurais Artificiais**. Dissertação (Mestrado) –Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, 2006

PRAZERES, R. A. **Redes de distribuição de Energia Elétrica e Subestações**. 22ª. ed. Curitiba. Base Editorial Ltda, 2010

MAMEDE, J. **Manual de Equipamentos Elétricos**. 3ed. São Paulo, LTC, 2009. 778 f.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Sistemas Elétricos de Potência**. ABNT NBR 5460, 1992

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Transformadores de potência – Parte 1: Generalidades**. ABNT NBR 5356-1, 2007

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Transformadores de Corrente**. ABNT NBR 6856, 2015

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Transformadores de Potencial**. ABNT NBR 6855, 1992

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS (IEEE). IEEE Std 100 - "**The Authoritative Dictionary of IEEE Standards Terms Seventh Edition**", 2000

LINS, M. V. F., **Impactos Morfológicos Gerados por Equipamentos de Infraestrutura Urbana**, 2015.

ABB Ltda. **Produtos de Alta Tensão**, 2020. Disponível em <<https://new.abb.com/high-voltage/pt/>> Acesso em: 13 de mar. de 2020.

General Electric Company, **Circuit Breakers**, 2020. Disponível em <https://www.gegridsolutions.com/HVMV_Equipment/CircuitBreakers.html> Acesso em: 15 de mar. de 2020

Delmar, **Catálogos**, 2020. Disponível em <<http://www.delmar.com.br/catalogos.asp>> Acesso em: 20 de mar. de 2020.

ARTECHE, **Transformadores de instrumentos Alta tensão**. Disponível em <<https://www.artech.com/pt/transformadores-de-instrumentos-altatens%C3%A3o>> Acesso em: 20 de mar. 2020.

Schweitzer, **RELÉS DE PROTEÇÃO**, 2020. Disponível em: <<https://selinc.com/pt/products-section/protective-relays/>> Acesso em: 20 de mar. de 2020.

SIEMENS, **High-voltage substations**, 2020. Disponível em <<https://new.siemens.com/global/en/products/energy/high-voltage/substations.html>> Acesso em: 22 de mar. de 2020.

TSEA Energia, **Transformadores de Potência**, 2020. Disponível em <<https://www.tseaenergia.com.br/produtos/transformadores/transformador-de-potencia/>> Acesso em: 22 de mar. de 2020.

GOOGLE MAPS, **Subestação Copacabana**, 2020. Disponível em <<https://www.google.com.br/maps/place/SE+Copacabana+-+Light/@-22.9668788,-43.1886359,168m/data=!3m1!1e3!4m8!1m2!2m1!1slight+copacaba!3m4!1s0x0:0x9559cf1f6e8d3a8a!8m2!3d-22.9670626!4d-43.1884793>> Acesso em: 15 de abr. de 2020.