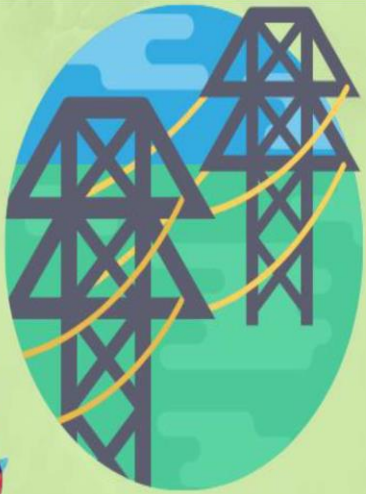
ENERGIA ELÉTRICA EM DESTAQUE

Fundamentos da Geração, Transmissão e Distribuição









ANTÔNIO NAZARENO VALENTE

Participação Especial

Adriano Almeida
Emerson Lima Gomes
Gevar Anastácio Pereira
Igor Patryck Martins corrêa
Ivanir sousa de Araújo;
Jean Filliph Pereira Amazonas
Lucas da cruz Mendes
Lucas Damião Amorim Rocha Ferreira
Marcos Além Simão Brilhante Filho
Uriel Reis Ibernon
Vinícius Silva Rafael sousa

Daniel Nascimento e Silva, Editor

ANTONIO NAZARENO VALENTE

Energia Elétrica em Destaque

Fundamentos da Geração, Transmissão e Distribuição

1a Edição

Participação especial dos Alunos de Engenharia do Centro Universitário Estácio da Amazônia

Adriano Almeida
Emerson Lima Gomes
Gevar Anastácio Pereira
Igor Patryck Martins Corrêa
Ivanir Sousa de Araújo
Jean Filliph Pereira Amazonas
Lucas da Cruz Mendes
Lucas Damião Amorim Rocha Ferreira
Marcos Além Simão Brilhante Filho
Uriel Reis Ibernon
Vinícius Silva Rafael Sousa

Boa Vista
2023

Editor Chefe: MS. Engenheira El. E Seg. do Trabalho Aline dos Santos A. Pedraça

Editor Capa: Daniel Nascimento e Silva

Conselho Editorial

Dr. Shigeaki Ueki Alves da Paixão – UFAM
MS. Eng. El. e Seg. do Trabalho Aline dos Santos A. Pedraça - UFAM
MS. Claudenor de Souza Piedade – SEDUC-AM
MS. Cintiara Souza Maia - IFRR
Eng. Eletricista Antonio Nazareno Valente – Estácio da Amazônia
Eng. Agr. Agr. Wolney Costa Parente Júnior – CREA-RR
Eng. Civil e Seg. do Trabalho Neovânio Soares Lima – CREA-RR
Fonoaudióloga - Daniele Christinne Avelino Ferreira Lima
Daniel Nascimento e Silva
Adriano Almeida - *Aluno do Centro Universitário Estácio da Amazônia*
Emerson Lima Gomes - *Aluno do Centro Universitário Estácio da Amazônia*
Gevar Anastácio Pereira - *Aluno do Centro Universitário Estácio da Amazônia*
Igor Patryck Martins Corrêa - *Aluno do Centro Universitário Estácio da Amazônia*
Ivanir Sousa de Araújo- *Aluno do Centro Universitário Estácio da Amazônia*
Jean Filliph Pereira Amazonas - *Aluno do Centro Universitário Estácio da Amazônia*
Lucas da Cruz Mendes- *Aluno do Centro Universitário Estácio da Amazônia*
Lucas Damião Amorim Rocha Ferreira - *Aluno do Centro Universitário Estácio da Amazônia*
Marcos Além Simão Brilhante Filho- *Aluno do Centro Universitário Estácio da Amazônia*
Uriel Reis Ibernon Vinícius Silva - *Aluno do Centro Universitário Estácio da Amazônia*
Rafael Sousa - *Aluno do Centro Universitário Estácio da Amazônia*

Corpo Técnico Científico

Dr. Shigeaki Ueki Alves da Paixão
MS. Eng. El. e Seg. do Trabalho Aline dos Santos A. Pedraça
MS. Claudenor de Souza Piedade
MS. Cintiara Souza Maia - IFRR

P126t Valente, Antonio Nazareno et al.

Energia Elétrica em Destaque: Fundamentos da Geração, Transmissão e Distribuição/ Antonio Nazareno Valente; Adriano Almeida; Emerson Lima Gomes; Gevar Anastácio Pereira; Igor Patryck Martins Corrêa; Ivanir Sousa de Araújo; Jean Filliph Pereira Amazonas; Lucas da Cruz Mendes; Lucas Damião Amorim Rocha Ferreira; Marcos Além Simão Brilhante Filho; Uriel Reis Ibernon; Vinícius Silva Rafael Sousa – Rio Branco: Daniel Nascimento e Silva, Editor, 2023.

ISBN: 978-65-00-87006-0

23cm 105 f.il.:

1. Geração. 2. Distribuição. 3. Transmissão. II- Título

CDU: 621.311

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....13

Capítulo 1 16

1. Aspectos Conceituais e Fundamentos Normativos 17
1.1 Aspectos Conceituais da Energia Elétrica.....17
1.1.1 Geração de Energia Elétrica - Fontes de Energia..... ..17
1.1.2 Processos de Geração..... 17
1.1.3 Transmissão de Energia Elétrica: Redes de Transmissão.....18
1.1.4 Perdas e Eficiência.....18
1.1.5 Distribuição de Energia Elétrica - Redes de Distribuição....18
1.1.6 Medição e Controle..... 18
1.1.7 Eficiência Energética.....17
1.2 Inovação e Desafios..... 20
1.2.1 Avanços Tecnológicos..... 20
1.2.2 Desafios e Oportunidades 20
1.2.3 Conceitos importantes 21
1.3 Fundamentos Normativos da Energia Elétrica 22

Capítulo 2.....25

2. GERAÇÃO. 25
2.1 Fontes de Energia para Geração..... 25
2.1.1 Renováveis **25**
2.1.2 Não Renováveis 26
2.1.3 Processos de Geração..... 26
2.1.4 Desafios e Oportunidades 27
2.2 Gerações Termelétricas 28
2.2.1 Tipos de Usinas Termelétricas 29
2.2.2 Geração de Vapor em Usinas Termelétricas ..... .30
2.3 Geração Fotovoltaica..... 31
2.3.1 Da geração fotovoltaica: Funcionamento da Geração Fotovoltaica 32

2.3.2 Vantagens da Geração Fotovoltaica 33
2.3.3 Desafios da Geração Fotovoltaica 34
2.3.4 Contribuições da Geração Fotovoltaica 34
2.3.5 Desafios e Oportunidades Futuras 35

Capítulo 3 36

3. TRANSMISSÃO. 36
3.1 Sistemas de Transmissão 38
3.1.1 Desenvolvimento e Expansão 39
3.1.2 Desafios e Avanços 39
3.2 Tipos de Torres 40
3.2.1 Torre em Treliça 41
3.2.2 Torre Estaiada 41
3.2.3 Torre Auto-sustentável 42
3.2.4 Torres Especiais 42
3.3 Cabos Condutores 42
3.3.1 Cabos de Alumínio 43
3.3.2 Cabos de Aço Revestidos de Alumínio (ACSR) 43
3.3.3 Cabos de Aço Revestidos de Al Reforçado (ACAR) 43
3.3.4 Cabos de Cobre 43
3.3.5 Cabos de Fibra de Carbono 43
3.4 Isoladores 44
3.4.1 Isoladores de Porcelana 45
3.4.2 Isoladores de Vidro Temperado 46
3.4.3 Isoladores Poliméricos 46
3.4.5 Isoladores Especiais 46

Capítulo 4 47

4. DISTRIBUIÇÃO. 47
4.1 Principais Aspectos da Distribuição de Energia 49
4.1.1 Desafios e Inovações 49
4.1.2 Eficiência Energética 50
4.2 Tipos de distribuição de energia elétrica 50

4.2.1 Distribuição Aérea 50
4.2.2 Distribuição Subterrânea 51
4.2.3 Micro e Minirredes 51
4.2.4 Smart Grids (Redes Inteligentes) 51
4.3 A Distribuição de energia elétrica no Brasil……52
4.3.1 Pontos Importantes sobre a Distribuição no Brasil……52
4.3.2 Investimentos em Tecnologia 52
4.3.3 |Desafios e Oportunidades Futuras 53
4.3.4 Regulação e Investimentos 53
4.3.5 Desafios proeminentes para a dist. de energia elétrica……53

Capítulo 5.....58

5. SUBESTAÇÕES DE ENERGIA ELÉTRICA..... 58
5.1 Equipamentos de uma Subestação -SE..... 60
5.2 Barramentos 61
5.3 Disjuntores 67
5.4 Chaves Seccionadoras 73
5.5 Para-Raios 75
5.5.1 Especificação De Para-Raios..... 77

Capítulo 6 79

6. PROJETO DA SUBESTAÇÃO..... 79
6.1 Planejamento 80
6.2 Projeto Civil 81
6.3 Projeto Eletromecânico 82
6.4 Projeto Elétrico……82
6.5 Projeto de Automação 83
6.6 Processo de Aquisição..... 84
6.7 Comissionamento 84
6.8 Energização 4

Capítulo 7 86

7. PROFETO ELETROMECÂNICO DA SE FANTASMA 86

7.1 Planejamento da SE Fantasma 87
7.2 Escolha do Terreno.....87
7.3 Malha de Terra.....87
7.4 Estudo da Resistividade do Solo.....89
7.5 Condutores da Malha de Terra.....89
7.6 Blindagem.....89
7.7 Estruturas..... 89
7.8 Entrada de Linha.....90
7.9 Barramento 72,5 KV.....91
7.10 Barramento de 15 KV.....92
7.11 O Desenvolvimento do Projeto.....93
CONSIDERAÇÕES FINAIS 99
REFERÊNCIAS……..102

Dedicatória

A energia elétrica é a força invisível que ilumina nossas vidas, alimenta nosso progresso e nos conecta a um mundo de possibilidades. Este livro, "Energia Elétrica em Destaque: Fundamentos da Geração, Transmissão e Distribuição," é dedicado a todos aqueles que trabalham incansavelmente nos bastidores, dedicando suas vidas para fornecer energia confiável a nossas casas, indústrias e comunidades.

Aos engenheiros, técnicos, eletricistas, e a todos os profissionais que mantêm nossas redes elétricas funcionando com eficiência, esta obra é uma homenagem ao seu comprometimento e expertise. Seu esforço incansável é o que permite que desfrutemos do conforto moderno e alcancemos nossos objetivos.

Às mentes criativas que buscam constantemente soluções inovadoras para tornar a geração, transmissão e distribuição de energia mais sustentáveis, esta dedicatória é para vocês. Suas ideias moldam o futuro e desempenham um papel fundamental na preservação de nosso planeta.

Este livro não seria possível sem a paixão e dedicação daqueles que trabalham no setor de energia elétrica. Que esta obra sirva como uma fonte de conhecimento e inspiração para todos vocês.

Com gratidão,



Antônio Nazareno Valente

Possui graduação em Eng. Elétrica pela Universidade Federal do Pará (1987). Atualmente é professor horista do Centro Universitário Estácio da Amazônia no Curso de Engenharia Elétrica e no Centro Universitário Claretiano, todos polos de ensino em Boa Vista - RR.

Tem experiência na área de Ciência da Computação, com ênfase em Teleinformática, atuando principalmente no seguinte tema: fibra óptica. Ministrou aulas no Centro universitário Claretiano, Polo Boa Vista-Roraima, nos Cursos de Engenharia Elétrica, Administração e Tecnólogo de RH, sendo Automação Industrial, Instrumentação de Processo Industrial e Matemática, Estatística e Probabilidade, no ano de 2021; ministrou aulas no Centro Universitário Estácio da Amazônia de 2013- 2014, no Curso de Tecnólogo de Rede; em 2021 no Centro Universitário Estácio da Amazônia ministrou as disciplinas Eletrônica Analógica e Circuitos Elétricos I em 2022 ministrou a disciplina Geração de Energia Elétrica e Transmissão de Energia Elétrica. Em 2023 ministra a disciplina Redes Industriais.

APRESENTAÇÃO

Bem-vindos ao livro 'Energia Elétrica em Destaque: Fundamentos da Geração, Transmissão e Distribuição. Este livro é uma exploração abrangente do mundo fascinante da eletricidade, desde sua criação até sua entrega em nossas casas e indústrias. Os principais objetivos deste livro são fornecer uma compreensão sólida dos princípios de geração de energia elétrica a partir de diversas fontes; explorar o processo de transmissão de eletricidade em longas distâncias e sua importância, e detalhar a distribuição eficiente de eletricidade para garantir sua disponibilidade confiável.

Dentre os tópicos principais que você encontrará neste livro incluem fontes de energia elétrica de usinas a fontes renováveis; redes de transmissão: como a eletricidade viaja longas distâncias; distribuição local com o sistema que alimenta nossas casas e empresas.

Este livro é destinado a estudantes de engenharia e ciências; profissionais da área de energia elétrica ou qualquer pessoa interessada em compreender a infra-estrutura por trás da eletricidade que usamos no dia a dia. Nossa abordagem combina explicações acessíveis com exemplos práticos e estudos de caso do mundo real para tornar os conceitos complexos da energia elétrica compreensíveis. Ler Energia Elétrica em Destaque oferece diversos benefícios, incluindo a compreensão mais profunda da eletricidade em nossa sociedade; conscientização sobre o impacto ambiental das fontes de energia. Informações valiosas para profissionais da área

Esperamos que Energia Elétrica em Destaque, o inspire a explorar o mundo da eletricidade, seu papel essencial em nossas vidas e seu impacto no futuro. Convida o público a explorar os fascinantes tópicos relacionados à energia elétrica abordados na obra.

PREFÁCIO

Convido-os a uma jornada pelo fascinante mundoda energia elétrica. Este livro, "Energia Elétrica em Destaque: Fundamentos da Geração, Transmissão e Distribuição," surge da convicção de que compreender aeletricidade é fundamental para desvendar os mistérios que iluminam nossas vidas diárias.

Ao abrir estas páginas, você embarcará em uma exploração abrangente dos princípios que impulsionam a geração, transmissão e distribuição da energia elétrica. Este não é apenas um livro sobre fios, turbinas e transformadores; é um mergulho nos alicerces que sustentam a infraestrutura invisível, mas vital, que mantém nossas luzes acesas e nossos dispositivos funcionando.

Uma Ode à Criação de Energia, pois se destaca as diversas formas de criar eletricidade, desde as majestosas usinas hidrelétricas até as inovações das fontes renováveis. Ao se compreender a criação de energia, se ganha uma apreciação renovada pela engenhosidade humana e pelas forças naturais que impulsionam as sociedades modernas.

O Ballet da Transmissão que se adentra em um reino de linhas de transmissão, onde a eletricidade dança através de vastas distâncias para atender às demandas de regiões distantes. Descobrir os desafios logísticos e tecnológicos enfrentados pelos engenheiros eletricistas enquanto traçam o caminho da eletricidade desde os geradores até os consumidores.

A Rede Invisível se revela a complexa teia de distribuição que conecta a eletricidade aos lares e empresas. Explora os sistemas inteligentes, as inovações na gestão de carga e as estratégias para garantir que a energia chegue de maneira confiável, eficiente e sustentável.

Um convite à exploração, uma vez que este livro não é apenas um guia; é um convite à exploração. À medida que você

navega por estas páginas, encorajo-o a questionar, aprofundar e aplicar os conhecimentos adquiridos. Seja você um estudante iniciante, um profissional da área ou um curioso em busca de compreensão, há algo aqui para todos.

A obra é composta por sete capítulos, começando pelos aspectos conceituais e fundamentos normativos acerca da energia elétrica. Em 2 se destaca a geração enfatizando a geração termelétrica e a fotovoltaica. No Capítulo 3 se mostra a transmissão e seus fundamentos com os tipos de torres, de cabos condutores e isoladores.

No capítulo 4 se mostra a distribuição e seus fundamentos, em 5, vem as Subestações de energia elétrica e a discriminação de suas partes como os equipamentos, barramentos, disjuntores, chaves seccionadoras e pára-raios. No capítulo 6 a perspectiva sobre o projeto da subestação com o planejamento, projeto civil, eletromecânico, elétrico, de automação, de aquisição, comissionamento e energização. No capítulo 7 se tem o projeto eletromecânico de uma SE fantasma e sua especificação in loco.

Agradeço pela Sua Jornada: Ao concluir esta obra, agradeço por compartilhar esta jornada de descoberta conosco. Que "Energia Elétrica em Destaque" ilumine não apenas lâmpadas, mas também mentes, inspirando uma apreciação mais profunda pela maravilha que é a eletricidade.

Bom proveito!



Aline Dos Santos Atherly Pedraça, é *Doutoranda em Ciências da Educação pela Facultad Interamericana de Ciencias Sociales-FICS-PY/BR (cursando); Mestranda em Engenharia Elétrica-PPGEE /UFAM (cursando); Mestra em Serviço Social e Sustentabilidade na Amazônia - PPGSS/UFAM (2019). Graduada em: Engenharia Elétrica -UNINORTE/Laureate (2018); em Serviço Social – Uni Nilton Lins (2013). Licenciada em Pedagogia – UNIBF/ETP (2023). Especialista: em Engenharia De Segurança Do Trabalho – IPEMING (2023); em Políticas Públicas de Atenção a Família - Dom Bosco (2015); em MBA em Eficiência Energética e Energias Renováveis – IPOG (2021); em Comercialização de Energia Elétrica- UNINORTE-SER (2023). Conselheira Titular e Coordenadora da Câmara Especializada de Engenharia Elétrica, Mecânica e Metalurgia (CEEEMM-CREA-RR); Membro e escritora da Academia de Literatura, Arte e Cultura da Amazônia -ALACA; Membro do Grupo de Estudos Laboratório de Gênero da UFAM; Membro do grupo de Estudos Processos Civilizadores da PAN-AMAZÔNIA- UFAM; Membro do grupo de pesquisa Geomática em Construção Civil, Transporte e Meio Ambiente Universidade Estadual do Amazonas - UEA/CNPQ.*

INTRODUÇÃO

A eletricidade desempenha um papel fundamental na operação da sociedade contemporânea, seja na produção de bens de consumo essenciais ou na oferta de serviços que beneficiam a comunidade. No contexto brasileiro, osistema elétrico opera com base na geração de eletricidade em grandes usinas, sua transmissão por meio de linhas de alta tensão e, posteriormente, a distribuição para os consumidoresfinais em baixa tensão.

Estamos testemunhando o desenvolvimento da microgeração e minigeração distribuída, o que tem o potencial de transformar essa abordagem tradicional. Essas formas de geração de energia envolvem a produção de eletricidade em proximidade às unidades consumidoras, como exemplificadas pelas usinas fotovoltaicas presentes nesta representação em escala.

O Brasil experimentou um notável crescimento econômico nos últimos anos, corroborando a hipótese de que a expansão econômica está diretamente ligada ao aumento da demanda por energia elétrica. Dado que a eletricidade é um elemento vital na vida de todos os cidadãos, as empresas de distribuição de

energia são obrigadas a manter padrões de qualidade elevados para melhor atender às necessidades dos consumidores.

Nesse contexto, torna-se imperativo que os órgãos governamentais encarregados do planejamento energético do país monitorem de perto o crescimentodo Produto Interno Bruto (PIB) e da população. Essa atenção deve abranger todos os aspectos do sistema elétrico, incluindo geração, transmissão e distribuição, uma vez que a disponibilidade de uma grande capacidade de geração de energia elétrica é inútil se a energia não puder ser entregue eficazmente aos centros de consumo.

As Subestações (SEs) são componentes essenciais desse conjunto de instalações que desempenham um papel crucial em um sistema elétrico. Seja na geração, transmissão, distribuição ou mesmo no fornecimento aos consumidores, as SEs têm a responsabilidade de assegurar uma maior confiabilidade, disponibilidade, segurança e eficiência na utilização da energia elétrica.

No contexto regulatório, é de particular interesse dos participantes do sistema de distribuição o PRODIST – ACESSO AO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO, pois ele define os critérios técnicos e operacionais necessários para a conexão ao sistema de distribuição e os requisitos para a elaboração de projetos de instalações de conexão.

Esses critérios estão relacionados à potência instalada, ao montante de Uso do Sistema de Distribuição (MUSD) e à tensão de conexão, conforme detalhado na Tabela 1:

Nível de tensão	Tensão nominal	Características
Baixa tensão (BT)	$V_{linha_{RMS}} \leq 1\ kV$	$P_{instalada} \leq 75$ kW
Média tensão (MT)	$1\ Kv < V_{linha_{RMS}} < 69\ kV$	$P_{instalada} > 75\ k$W e $MUSD < 2500\ k$W
Alta tensão (AT)	$69\ Kv \leq V_{linha_{RMS}} < 230\ kV$	$MUSD > 2500\ k$W

Tabela 1 – Tensão de conexão conforme a característica da carga

De acordo com estudos previamente apresentados, o sistema elétrico da cidade-fantasma criada pela equipe da Estácio tem uma potência instalada de 9.150 kW, um MUSD de 3.500 kW e é atualmente atendido na tensão primária em 13,8 kV através da rede de Média Tensão (MT) da Roraima Energia, justificando, portanto, a implantação de uma subestação 69/13, 8

kV na cidade fantasma. Os estudos realizados nos motivaram a elaboração do projeto eletromecânico da SE Fantasma, apresentada neste trabalho.

O projeto teve como principais objetivos a criação e exposição de uma maquete em escala que ilustra de forma detalhada os sistemas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. Essa maquete foi desenvolvida por estudantes do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Estácio da Amazônia e serviu como uma ferramenta visual para demonstrar os componentes e o funcionamento desses sistemas.

Os dados técnicos das subestações e geração foram representados por 69/13, 8 kV, potência inicial 5/6, 25 MVA com previsão de expansão. Este projeto foi elaboradoseguindo as normas e procedimentos da concessionária local. A metodologia para o trabalho inclui: levantamento dos dados em campo; reunião com os responsáveis pela rede elétrica da cidade fantasma para definição da localização do terreno da SE; análise das normas e critérios de projetos de SEs da Roraima Energia e adequação ao projeto desses de consumidores; elaboração das plantas e do memorial descritivo que correspondem ao ProjetoEletromecânico da SE Fantasma.

Capítulo 1

"Na interseção entre os princípios que moldam a essência de um conceito e as diretrizes que regulam a sua aplicação, reside o equilíbrio entre a teoria e a prática, essencial para o desenvolvimento e a evolução em qualquer campo."



Figura1- As perspectivas e a realidade da geração de energia.
Fonte: https://www.nhssolar.com.br/ (2021)

1. ASPECTOS CONCEITUAIS E FUNDAMENTOS NORMATIVOS

No setor de energia elétrica, os aspectos conceituais e fundamentos normativos envolvem os princípios teóricos e práticos subjacentes à geração, transmissão e distribuição de eletricidade, bem como as normas e regulamentos que governam esses processos.

1.1 Aspectos Conceituais da Energia Elétrica

No contexto dos aspectos conceituais da energia elétrica, é essencial compreender os princípios fundamentais que envolvem a geração, transmissão e uso dessa forma de energia.

1.1.1 Geração de Energia Elétrica - Fontes de Energia

Renováveis: Tais como energia solar, eólica, hidrelétrica, biomassa e geotérmica.

Não Renováveis: Incluindo energia proveniente de combustíveis fósseis (carvão, petróleo, gás natural) e energia nuclear.

1.1.2 Processos de Geração

Conversão de energia de fontes primárias em energia elétrica, realizada por meio de diferentes tecnologias (térmicas, fotovoltaicas, hidrelétricas, entre outras).

1.1.3 Transmissão de Energia Elétrica: Redes de Transmissão

Sistemas de alta tensão que transportameletricidade a grandes distâncias, conectando as áreas de geração às de demanda.

1.1.4 Perdas e Eficiência

As perdas de energia ao longo das linhas de transmissão são um fator crucial a considerar, buscando aperfeiçoar a eficiência na entrega de eletricidade.

1.1.5 Distribuição de Energia Elétrica - Redes de Distribuição

Redes de média e baixa tensão que levam a eletricidade das subestações aos consumidores finais, residenciais, comerciais e industriais.

1.1.6 Medição e Controle

Sistemas de medição e controle que garantem a entrega adequada de eletricidade e permitem a gestão da demanda.

1.1.7 Eficiência Energética

Tecnologias e Práticas: Incluem o uso de dispositivos eficientes, práticas de conservação de energiae adoção de tecnologias sustentáveis para reduzir o consumo de eletricidade.

Sustentabilidade: Considera-se a capacidade de suprir as necessidades atuais sem comprometer a capacidade das futuras gerações de atenderem às suas próprias necessidades.

1.2 Inovação e Desafios

A interligação entre inovação e desafios é fundamental para o progresso em diversas áreas. A inovação é o motor que impulsiona a resolução de problemas e o avanço em setores que vão desde a tecnologia até a medicina, economia e sustentabilidade. Aqui está um contexto sobre a relação entre inovação e desafios:

Inovação: a tecnologia e ciência são impulsionadas pela inovação que promove o desenvolvimento de novas tecnologias, metodologias científicas e descobertas que melhoram a vida das pessoas e impulsionam a economia.

Empreendedorismo e Negócios: estimula a criação de novos modelos de negócios, produtos e serviços inovadores que atendem às necessidades emergentes e transformam setores inteiros.

Soluções Sociais e Ambientais: fomenta iniciativas criativas para resolver desafios sociais e ambientais, como acesso à educação, cuidados de saúde, mudançasclimáticas e pobreza.

Desafios, estímulo à inovação, os desafios são oportunidades para a inovação. Problemas complexos impulsionam a busca por soluções novas e mais eficazes.

Adaptação e Resiliência, com os desafios impulsionam a necessidade de adaptação e Resiliência,

levando a abordagens mais eficientes e dinâmicas para lidar com problemas existentes.

Crescimento e Desenvolvimento para enfrentar desafios impulsiona o crescimento, o desenvolvimento pessoal e coletivo, além de gerar aprendizado e progresso.

Intersecção entre Inovação e Desafios: a necessidade de Soluções Criativas, pois os desafios instigam a busca por soluções inovadoras que superem obstáculos existentes.

Ciclo Contínuo de Melhoria, com a inovação e a resolução de desafios formam um ciclo interligado de melhoria constante.

Potencial de Transformação e a superação de desafios por meio da inovação têm o potencial de gerar mudanças significativas em diversos âmbitos da vida humana e da sociedade.

A interdependência entre inovação e desafios é o cerne do progresso. Enfrentar desafios impulsiona a inovação, e a inovação, por sua vez, oferece respostas e soluções que podem transformar e melhorar o mundo em que se vive.

1.2.1 Avanços Tecnológicos

Novas tecnologias (armazenamento de energia, redes inteligentes, energias renováveis) que estão moldando o futuro do setor de energia elétrica.

1.2.2 Desafios e Oportunidades

Incluem a descarbonização, a descoberta de fontes de energia mais limpas e a integração de sistemas mais eficientes.

Entender os aspectos conceituais da energiaelétrica é fundamental para o planejamento e a implementação de sistemas de energia mais eficientes, confiáveis e sustentáveis. Além disso, acompanhar as inovações e desafios neste campo é crucial para o progresso e a evolução do setor de energia.

1.2.3 Conceitos importantes

Geração de Energia Elétrica: r**e**fere-se aos métodos e processos de produção de eletricidade, que podem incluir usinas hidrelétricas, termelétricas, eólicas, solares, nucleares, entre outras fontes.

Transmissão de Energia: envolve o transporte de eletricidade a longas distâncias das plantas geradoras até os centros de demanda. Essa etapa geralmente é realizada por meio de redes de alta tensão.

Distribuição de Energia: diz respeito à entrega da eletricidade dos pontos de transmissão para os consumidores finais, normalmente por meio de redes de distribuição de média e baixa tensão.

Eficiência Energética: **c**ompreende o uso eficiente de eletricidade, implementação de tecnologias e práticas que minimizem perdas e maximizem a utilização racional da energia.

1.3 Fundamentos Normativos da Energia Elétrica

Regulamentações Governamentais: incluem leis, decretos, regulamentos e políticas governamentais que controlam a geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. Isso pode abranger questões de segurança, qualidade, tarifas, licenças, entre outros aspectos.

Padrões e Normas Técnicas: estabelecem diretrizes técnicas e de segurança para a construção e operação de infraestruturas elétricas, visando garantir a confiabilidade do sistema e a segurança dos usuários.

Normas de Qualidade e Segurança: determinam os requisitos de qualidade da energia, como estabilidade de frequência, tensão adequada e limites de distúrbios, além de regulamentos de segurança para operadores eusuários.

Regulação de Mercado: envolve políticas e agências reguladoras que supervisionam o setor, promovendo a concorrência justa, estabelecendo tarifas adequadas e garantindo a prestação de serviços adequados aos consumidores.

Entender os aspectos conceituais e fundamentos normativos da geração, transmissão e distribuição de energia elétrica é essencial para garantir um sistema elétrico confiável, seguro, eficiente e em conformidade com as regulamentações estabelecidas pelas autoridades competentes.

A compreensão dos aspectos conceituais e fundamentos normativos relacionados à geração transmissão e distribuição de energia elétrica são crucial

para o desenvolvimento, regulação e funcionamento eficaz dos sistemas de energia.

A geração de energia compreende a conversão de fontes de energia primária em eletricidade por meio de diferentes métodos e tecnologias.

A transmissão de energia envolve sistemas de alta tensão para transportar eletricidade de áreas de geração para centros de demanda.

A distribuição de energia refere-se à entrega de eletricidade aos consumidores finais através de redes de média e baixa tensão.

A eficiência energética busca aperfeiçoar o uso de energia, reduzir perdas e promover práticas sustentáveis no consumo.

Fundamentos normativos regulamentações governamentais são leis, políticas e regulamentos que supervisionam e regulam a geração, transmissão e distribuição de energia elétrica.

Dos padrões e normas técnicas que estabelecem diretrizes para garantir a qualidade, segurança e confiabilidade dos sistemas elétricos.

As normas de qualidade e segurança definem critérios de qualidade e segurança para a operação e fornecimento de eletricidade.

A regulação do mercado envolve políticas eagências reguladoras que garantem a concorrência justa e a prestação de serviços adequados aos consumidores.

O conhecimento dos aspectos conceituais permite uma compreensão aprofundada dos processos de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, facilitando o desenvolvimento e a implementação de tecnologias e práticas mais eficientes. Juntamente com os

fundamentos normativos, assegura-se o cumprimento das leis e regulamentos que garantem a segurança, a qualidade e a equidade no fornecimento de energia elétrica, promovendo sistemas elétricos mais confiáveis e sustentáveis.

Capítulo 2

2 GERAÇÃO

"A energia é a força motriz que impulsiona o mundo, alimentandoa vida e iluminando o caminho para um futuro mais brilhante."



Figura 2- A Geração de energia e os desafios da sociedade Moderna.
Fonte: Neto e De Carvalho (2012).

A geração de energia é o processo fundamental pelo qual a eletricidade é produzida a partir de diferentes fontes de energia primária. Ela abrange uma série de métodos e tecnologias para converter energia proveniente de fontes naturais em eletricidade utilizável.

2.1 Fontes de Energia para Geração

2.1.1 Renováveis

Energia Solar: Captura a energia do sol por meio de painéis fotovoltaicos ou térmicos para gerar eletricidade.

Energia Eólica: Usa a força do vento para acionar turbinas eólicas que convertem energia cinética em eletricidade.

Energia Hidrelétrica: Aproveita a energia da água em movimento, geralmente através de represas eturbinas.

Biomassa: Utiliza resíduos orgânicos ou materiais biodegradáveis para gerar eletricidade.

2.1.2 Não Renováveis

Energia Nuclear: Emprega a fissão nuclear paragerar calor, transformando a água em vapor e acionando turbinas para produzir eletricidade.

Energia de Combustíveis Fósseis: Utiliza carvão, petróleo e gás natural para queimar e gerar calor, alimentando turbinas.

2.1.3 Processos de Geração

Térmicos Convencionais: **c**onsistem em caldeirasque queimam combustíveis fósseis para gerar vapor, acionando turbinas conectadas a geradores.

Geração Distribuída: inclui sistemas menores, como painéis solares em telhados ou turbinas eólicas locais, para atender a demandas específicas.

Tecnologias Inovadoras: incluem avanços em armazenamento de energia, captura de carbono e novas formas de geração, como a energia das ondas e marés.

2.1.4 Desafios e Oportunidades

Sustentabilidade e Impacto Ambiental: o desafio é reduzir o impacto ambiental por meio do uso de fontes mais limpas e da redução de emissões de gases de efeito estufa.

Eficiência e Armazenamento de Energia: busca por tecnologias mais eficientes de geração e formas avançadas de armazenamento para garantir umsuprimento contínuo.

Integração de Fontes Renováveis: Desafio de integrar fontes intermitentes, como solar e eólica, na rede elétrica de forma estável e eficiente.

A geração de energia elétrica está em constante evolução, impulsionada pela busca por fontes mais limpas, tecnologias mais eficientes e estratégias avançadas de integração e armazenamento, tudo isso visando a construção de sistemas elétricos mais sustentáveis e confiáveis.

2.2 Gerações Termelétricas

A energia gerada no âmbito deste projeto de maquete da cidade-fantasma é proveniente de diferentes fontes, apresentando uma mistura de características renováveis e não renováveis. Uma das fontes de energia utilizadas é uma termelétrica movida a diesel, considerada não renovável devido à sua dependência de recursos finitos. Além disso, também será incorporada uma usina fotovoltaica, que representa uma fonte limpa e renovável de energia. Isso reflete a atual dependência do Brasil em relação às usinas hidrelétricas e termelétricas, conforme indicado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

A geração de energia termelétrica é baseada no processo de conversão de energia térmica em energia mecânica e, posteriormente, em energia elétrica. Essas usinas termelétricas (UTE) operam com a queima de combustíveis fósseis, como petróleo, carvão mineral e gás natural, ou através do processo de fissão, que envolve materiais radioativos. No caso da queima de combustíveis fósseis, o calor gerado aquece a água em uma caldeira, fazendo com que as pás das turbinas na usina girem. Essas turbinas estão conectadas a geradores que possuem um campo eletromagnético,transformando assim a energia potencial em energia elétrica. Após esse processo, a água é resfriada em um condensador para reiniciar o ciclo.

Os geradores de energia a diesel, por sua vez, são dispositivos usados para gerar energia em aparelhos de grande porte que demandam fornecimento contínuo de eletricidade. Eles convertem a energia elétrica gerada para atender às necessidades de abastecimento do local

ou dos dispositivos conectados a eles. Os geradores a diesel são especialmente eficientes em comparação com os geradores a gasolina, devido à sua maior capacidade de duração e necessidade de manutenção menos freqüente. Eles podem ser utilizadospor longos períodos.

É importante observar que os geradores a diesel tendem a produzir mais ruído e emissões poluentes durante o funcionamento, no entanto, esses níveis de poluição podem ser reduzidos significativamente por meio de manutenção regular e eficaz desses equipamentos.

As usinas termelétricas são um dos métodos de geração de energia elétrica mais comuns em muitos países. Essas usinas geram eletricidade a partir da queima de combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás natural) ou de biomassa, utilizando o calor gerado para acionar turbinas e geradores.

2.2.1 Tipos de Usinas Termelétricas

Carvão: usinas que queimam carvão para produzir vapor, que, por sua vez, aciona turbinas conectadas a geradores.

Petróleo: usinas que queimam óleo combustível para produzir calor, convertido em energia mecânica para gerar eletricidade.

Gás Natural: usinas que usam gás natural como fonte de calor para gerar eletricidade.

Biomassa: utiliza resíduos orgânicos, como madeira ou bagaço de cana-de-açúcar, como fonte de energia para a geração.

2.2.2 Geração de Vapor em Usinas Termelétricas

Combustão do Combustível: o processo inicia-secom a queima do combustível (carvão, petróleo, gás natural ou biomassa) em uma caldeira.

Aquecimento da Água: o calor gerado pela queima do combustível é usado para aquecer a água, transformando-a em vapor.

Pressão do Vapor: o vapor gerado pela água aquecida sob alta pressão é direcionado para mover as pás de turbinas.

Movimento das Turbinas: o vapor, ao expandir-se, aciona as turbinas, fazendo-as girar.

Conexão com Geradores: as turbinas estão conectadas a geradores, transformando a energia mecânica rotacional em energia elétrica.

Transmissão de Eletricidade: a eletricidade gerada é conduzida através de linhas de transmissão para alimentar os sistemas elétricos.

As usinas termelétricas, ao utilizarem a queima de combustíveis para gerar calor e vapor, acionam as turbinas que, por sua vez, movimentam os geradores paraproduzir eletricidade. No entanto, é importante observar que o processo de combustão em usinas termelétricas tradicionais pode resultar em emissões significativas de gases de efeito estufa e outros poluentes, o que tem motivado a busca por métodos de geração de energia mais limpos e sustentáveis.

As usinas termelétricas desempenham um papel significativo na geração de eletricidade, fornecendoenergia para suprir as demandas de muitas regiões. No entanto, existem preocupações ambientais associadas à queima de

combustíveis fósseis nessas usinas, devido às emissões de gases de efeito estufa e outros poluentes.

Contribuição para o Suprimento de Energia: as usinas termelétricas desempenham um papel crucial na geração de eletricidade, especialmente em locais onde outras fontes de energia podem não estar prontamente disponíveis ou acessíveis.

Impacto Ambiental: a queima de combustíveis fósseis nessas usinas contribui para a emissão de poluentes, como dióxido de enxofre, óxidos de nitrogênio e dióxido de carbono, afetando a qualidade do ar e o aquecimento global.

Necessidade de Tecnologias Limpas: a busca por tecnologias mais limpas, como a captura e armazenamento de carbono, tem como objetivo reduzir as emissões e minimizar o impacto ambiental das usinastermelétricas.

Transição para Fontes de Energia Mais Sustentáveis: o crescente interesse em fontes de energia renovável e tecnologias de geração mais limpas aponta para a transição gradual para um sistema de energia mais sustentável e com menor impacto ambiental.

Eficiência e Melhoria Contínua: esforços contínuos são direcionados para melhorar a eficiência energética e reduzir as emissões por meio de práticas de geração mais eficientes e tecnologicamente avançadas.

Embora as usinas termelétricas sejam uma fonte estabelecida de geração de eletricidade, a necessidade de reduzir o impacto ambiental e a busca por alternativas mais sustentáveis estão moldando o futuro do setor energético, buscando equilibrar a demanda crescente porenergia com a necessidade de preservar o meio ambiente.

2.3 Geração Fotovoltaica

O sistema fotovoltaico consiste basicamente na transformar de energia solar em energia elétrica, através do processo fotovoltaico, este sistema é uma fonte de energia sustentável e alto suficiente, podendo ser utilizado em qualquer região ou localidade, com o sistema on grid ou off grid.

Sistema off grid, este sistema é mais utilizado em localidade enrolada que não seja interligada ao sistema de rede, sendo composto por placas solares integrada com um banco de baterias, que armazenar a energia para ser utilizada posteriormente.

Sistema on grid, este sistema basicamente funciona integrando outro sistema qualquer, ela atua aplicando energia diferente na rede compensando ou aumentando a capacidade do sistema.

O sistema fotovoltaico pode ser utilizado de diversas maneiras, como fonte de energia complementar ou primária, o sistema fotovoltaico e uma tecnologia totalmente sustentável e barata tentando o que torna atrativo ao mercado e a sustentabilidade.

Segundo os dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), o Brasil possui atualmente 4.357 usinas fotovoltaicas em operação com uma potência outorgada total de aproximadamente 3,84 GW.

A geração fotovoltaica é uma forma de produção de eletricidade a partir da conversão da luz solar em energia elétrica. Esse processo é realizado por meio de células fotovoltaicas, comumente chamadas de painéis solares, que utilizam o efeito fotovoltaico para gerar corrente contínua (CC) quando expostas à luz do sol.

2.3.1 Da geração fotovoltaica: Funcionamento da Geração

Fotovoltaica.

Células Fotovoltaicas: as células fotovoltaicas são compostas por materiais semicondutores, como o silício, que convertem a luz solar em eletricidade.

Efeito Fotovoltaico: quando a luz solar incide sobre as células, os fótons da luz fornecem energia suficiente para liberar elétrons nos materiais semicondutores, gerando assim uma corrente elétrica.

Produção de Corrente Contínua (CC): a eletricidade gerada é inicialmente em corrente contínua (CC), que é o tipo de eletricidade produzida pelos painéis solares.

Inversores: os inversores convertem a corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA), que é a forma de eletricidade usada nas residências e indústrias.

Conexão à Rede ou Armazenamento: a eletricidade gerada pode ser usada imediatamente, armazenada em baterias ou conectada à rede elétrica local.

2.3.2 Vantagens da Geração Fotovoltaica

Fonte Renovável e Limpa: utiliza uma fonte de energia inesgotável e não emite poluentes durante a geração de eletricidade.

Redução de Custos em Longo Prazo: reduz os custos de eletricidade ao longo do tempo e pode até gerar economia quando há produção excedente de energia.

Baixa Manutenção: os painéis solares geralmente exigem pouca manutenção após a instalação.

Independência Energética: oferece a possibilidade de se tornar auto-suficiente em energia, principalmente quando combinada com sistemas de armazenamento.

2.3.3 Desafios da Geração Fotovoltaica

Intensidade e Disponibilidade Solar: a eficiência da geração está diretamente ligada à quantidade e qualidade da luz solar recebida.

Custos Iniciais: o investimento inicial na instalação de sistemas fotovoltaicos pode ser alto, embora os custos tenham diminuído ao longo dos anos.

Armazenamento de Energia: o armazenamento eficiente da energia solar para uso em momentos depouca ou nenhuma luz solar é um desafio.

A geração fotovoltaica está crescendo rapidamente e desempenha um papel crucial na transição para fontes de energia mais limpas e sustentáveis. A evolução contínua da tecnologia solar, a redução de custos e os esforços para resolver desafios técnicos estão impulsionando a adoção e a implementação mais amplas de sistemas fotovoltaicos em todo o mundo.

A geração fotovoltaica representa uma inovação significativa no campo da energia, oferecendo uma fonte limpa e renovável de eletricidade por meio da conversão da luz solar em energia elétrica. A tecnologia fotovoltaica trouxe mudanças significativas e está moldando opanorama energético global.

2.3.4 Contribuições da Geração Fotovoltaica

Sustentabilidade e Meio Ambiente: como fonte de energia renovável, a geração fotovoltaica contribui para a redução das emissões de gases de efeito estufa e a preservação do meio ambiente.

Independência Energética e Descentralização: os sistemas fotovoltaicos permitem aos consumidores gerar sua própria eletricidade, promovendo a independência

energética e a descentralização do sistema.

Redução de Custos e Acessibilidade: a queda nos custos dos painéis solares tornou a tecnologia mais acessível, promovendo sua adoção em diferentes regiões.

Inovação Tecnológica: avanços constantes em tecnologia solar, incluindo eficiência dos painéis, armazenamento de energia e integração de sistemas, impulsionam o desenvolvimento contínuo.

2.3.5 Desafios e Oportunidades Futuras

Armazenamento de Energia: aprimorar acapacidade de armazenamento é fundamental para a utilização da energia fotovoltaica em momentos de pouca ou nenhuma luz solar.

Integração à Rede Elétrica: a integração eficaz desses sistemas à rede elétrica existente é essencial para garantir a estabilidade e a segurança do suprimento de energia.

Maximização da Eficiência: melhorar a eficiênciados painéis solares e otimizar a captura de energia solar é crucial para aumentar o potencial de geração.

A geração fotovoltaica continua a desempenhar um papel fundamental na transição para uma matriz energética mais limpa e sustentável. Com investimentos em pesquisa, desenvolvimento e implementação, é possível superar os desafios atuais e maximizar o potencial dessa tecnologia para um futuro energético maisverde e acessível.

Capítulo 3

3 TRANSMISSÃO

"Através de conexões elétricas, tecemos uma teia de energia que une distâncias, iluminando a jornada para um amanhã interligado e luminoso."



Figura 3- As linhas de transmissão.
Fonte: Agência Brasil (2021)

Ao longo das Linhas de Transmissão (LTs) aéreas, encontramos elementos chamados de suportes, cuja principal função é proporcionar sustentação aos cabos condutores e para-raios.

Esses suportes são dimensionados para resistir às cargas mecânicas e transmiti-las à fundação. Além disso, desempenham o papel de manter um espaçamento adequado entre os cabos, de acordo com a tensão elétrica em questão.

Essas estruturas geralmente se apresentam na forma de torres treliçadas, feitas de aço galvanizado, ou postes, feitos de aço, concreto ou madeira.

Para tensões de até 138 kV, é comum o uso de suportes tipo poste, que são compostos por módulos metálicos com seção transversal em forma de polígono fechado, que se encaixam uns nos outros, alcançandouma altura de cerca de 60 metros.

Esses suportes são vantajosos devido à sua compacidade, impacto visual reduzido e base de dimensões reduzidas, permitindo sua instalação emcanteiros centrais ou calçadas de avenidas e ruas.

Em contrapartida, para tensões superiores a 138 kV, é comum a utilização de suportes tipo torre, formados por treliças metálicas modulares que proporcionam uma estrutura leve e com boa capacidade mecânica. Essas torres podem atingir alturas superiores a 100 metros, conferindo maior versatilidade ao projeto.

As dimensões e formas dessas estruturas de suporte dependem de diversos fatores, incluindo a disposição dos condutores, a distância entre eles, as dimensões e características dos isoladores, a flecha dos condutores, a altura de segurança, a função mecânica, os materiais estruturais utilizados e o número de circuitos.

As estruturas de suporte são dimensionadas de acordo com o projeto básico de uma LT, levando em consideração as forças exercidas pelos cabos condutores, para-raios, a cadeia de isoladores, o próprio peso da estrutura e as forças do vento incidente sobre a torre.

As forças verticais atuantes nas torres resultam do peso da cadeia de isoladores, das ferragens associadas, do peso dos cabos condutores e para-raios, além do próprio peso da torre.

Nas torres de suspensão, os cabos são pendurados nas cadeias de isoladores, que ficam na posição vertical e podem acomodar movimentos transversais devido à ação do vento.

As forças longitudinais são equilibradas em torres de suspensão, geralmente, uma vez que os esforços longitudinais causados pelos cabos são contrabalançados em sua fixação na cadeia de isoladores. No entanto, desequilíbrios podem ocorrer devido a variações desiguais de temperatura em vãos adjacentes ou quando o vento atua sobre os cabos.

No Brasil, a transmissão de energia elétrica é realizada por meio de um extenso sistema de linhas de transmissão que conectam as diferentes regiões do país.

A transmissão é uma etapa decisiva no setor elétrico brasileiro, permitindo a distribuição da eletricidade produzida nas usinas para os locais de consumo.

Alguns pontos-chave sobre a transmissão deenergia elétrica no Brasil são:

3.1 Sistemas de Transmissão

Operação Nacional: o sistema de transmissão no Brasil é operado pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), responsável por coordenar e controlar a geração e

transmissão de energia elétrica em território nacional.

Rede de Linhas de Transmissão: o país possui uma rede extensa de linhas de transmissão de alta tensão (em corrente alternada e corrente contínua), conectando usinas de geração às subestações e aos centros de distribuição.

Interconexões Regionais: o Brasil é dividido em diferentes subsistemas interconectados, como o Sistema Interligado Nacional (SIN), que permite a troca de energia entre regiões para atender às demandas.

3.1.1 Desenvolvimento e Expansão

Investimentos em Infraestrutura: o país tem investido em projetos de expansão e modernização da infraestrutura de transmissão para acompanhar o crescimento da demanda e incorporar novas fontes de geração, como a energia eólica e solar.

Leilões e Concessões: a expansão do sistema de transmissão é frequentemente realizada por meio de leilões de concessões, nos quais empresas são autorizadas a construir e operar novas linhas.

3.1.2 Desafios e Avanços

Distâncias e Diversidade Geográfica: o Brasilenfrenta desafios devido às grandes distâncias entre regiões, levando a investimentos específicos para a interligação de áreas remotas.

Integração de Fontes Renováveis: a expansão da transmissão também visa integrar eficientemente as fontes de energia renovável, localizadas muitas vezes em regiões distantes dos centros de consumo.

Tecnologia e Inovação: o setor elétrico brasileiro

busca implementar tecnologias mais avançadas para garantir a estabilidade e a eficiência do sistema de transmissão.

A transmissão de energia elétrica no Brasil é uma parte crucial do setor energético, visando garantir o fornecimento seguro e contínuo de eletricidade a todo o país, abrangendo desafios de logística e geografia diversificada, enquanto incorpora avanços tecnológicos para fortalecer e expandir o sistema elétrico nacional.

3.2 Tipos de Torres

Torres de alinhamento – tem como função o suporte dos cabos condutores e de guarda em situações em que a linha da transmissão não sofra mudanças de direção; Torres de ângulo – suporta os cabos e permite uma mudança na direção dos mesmos. A mudança da direção é feita nos vértices dos braços da torre.

Torres de reforço – estrutura que funciona como ponto firme na linha a fim de evitar a propagação de esforços longitudinais de origem acidental (ex.: ruptura de um condutor);

Torres de fim de linha – estrutura localizada nas extremidades de uma linha de transmissão com capacidade resistente a esforços longitudinais induzidos pelo suporte dos cabos condutores e de guarda.

As torres de transmissão de energia elétrica são estruturas fundamentais para suportar e manter as linhas de transmissão que transportam eletricidade em longas distâncias. Elas vêm em diferentes formas e tamanhos, cada uma projetada para atender às necessidades específicas de transmissão de energia em diferentes terrenos e condições. Aqui estão alguns tipos comuns de torres de transmissão:

3.2.1 Torre em Treliça

Torres de Treliça Leve: geralmente usadas em terrenos planos ou suavemente inclinadas. Estrutura aberta com seções de treliça feitas de aço. Fáceis de montar e ideais para terrenos mais acessíveis.

Torres de Treliça Pesada: projetadas para suportar linhas de transmissão em áreas de terreno acidentado ou regiões montanhosas. Construídas com seções mais robustas de treliça para resistir a condições adversas.

3.2.2 Torre Estaiada

Torres Estaiadas em V: caracterizadas por linhas de estaiamento que se assemelham a uma forma em "V". Utilizadas para suportar tensões e oferecer estabilidade em várias direções.

Torres Estaiadas Tubulares: estruturas verticais com suportes diagonais, formando uma estrutura semelhante a uma torre estaiada.

3.2.3 Torre Autossustentável

Torres Autossustentáveis de Treliça: estruturas autoportantes que não requerem estaiamento para suporte adicional. Mais robustas e frequentemente utilizadas em linhas de transmissão de alta capacidade.

3.2.4 Torres Especiais

Torres em Ângulo ou Torre Tipo A: estrutura simples com um formato em "A" invertido. Usadas em áreas com terreno inclinado ou montanhoso.

Torres em Torção: projetadas para suportar torções e tensões causadas por ventos fortes ou outras condições ambientais.

Esses diferentes tipos de torres são utilizados de acordo com as necessidades de terreno, capacidade de transmissão, condições climáticas e requisitos de engenharia específicos de cada projeto de linha de transmissão de energia elétrica.

3.3 Cabos Condutores

Cabos condutores - Têm a função de transmissão da energia e podem ser homogêneos (cobre) ou mistos (alumínio-aço) no que se refere à sua constituição. Os cabos mistos são formados por uma alma de aço que lhes confere resistência mecânica, envolta por duas ou três camadas sucessivas de alumínio que terá como função a passagem da corrente elétrica (adotando a hipótese de corrente alternada em que a corrente distribui exclusivamente à superfície).

Cabos de guarda - A sua principal função é proteger as linhas de transmissão de descargas elétricas, mas pode ter funções secundárias como o transporte de energia de menor tensão, para comunicações porque estes cabos permitem que se incorporem condutores de fibra ótica no seu núcleo.

Os cabos condutores são elementos fundamentais nas linhas de transmissão de energia elétrica, pois são responsáveis por transportar a eletricidade ao longo de grandes distâncias. Existem vários tipos de cabos condutores com diferentes características. Aqui estão alguns dos tipos mais comuns:

3.3.1 Cabos de Alumínio

Alumínio Nu: cabos de alumínio sem revestimento, usados em linhas aéreas de transmissão e distribuição. Leves e com boa condutividade, ideais para linhas de longa distância.

Alumínio Encapado: cabos de alumínio revestidos, oferecendo proteção adicional contra corrosão e condições climáticas adversas.

3.3.2 Cabos de Aço Revestidos de Alumínio (ACSR)

ACSR Padrão: consiste em um núcleo de alumínio rodeado por fios de aço entrançados. Combina resistência e condutividade, sendo frequentemente utilizados em linhas de transmissão de alta capacidade.

3.3.3 Cabos de Aço Revestidos de Alumínio Reforçado (ACAR)

ACAR: similar ao ACSR, mas com um núcleo de alumínio reforçado para aumentar a resistência. Utilizado em linhas que requerem maior resistência mecânica e condutividade.

3.3.4 Cabos de Cobre

Cobre Nu: menos comum em linhas de transmissão de alta tensão devido ao seu custo mais elevado em comparação com o alumínio. Tem uma melhor condutividade elétrica que o alumínio, por isso é utilizado em aplicações específicas.

3.3.5 Cabos de Fibra de Carbono

Fibra de Carbono Reforçada (CFRP): em desenvolvimento para uso em linhas de transmissão de alta tensão, com propriedades mecânicas e de condutividade aprimoradas.

Os cabos condutores são escolhidos de acordo com a capacidade de transmissão necessária, a resistência mecânica, a durabilidade e a eficiência energéticadesejada para a linha de transmissão específica. Cada tipode cabo tem suas próprias vantagens e é utilizado conforme as necessidades do projeto.

3.4 Isoladores

Na configuração de uma Linha de Transmissão de Alta Tensão (LTA), um elemento desempenha um papel fundamental no que diz respeito ao isolamento, impedindo qualquer contato elétrico entre os perfis da torre e o cabo-fase.

Esse componente é conhecido como cadeia de isoladores e, de forma geral, é composto por isoladores que são agrupados em conjunto. Em conjunto com as ferragens, essa cadeia proporciona suporte e isolação ao cabo-fase em relação à estrutura da torre.

A cadeia de isoladores é dimensionada com base em informações fundamentais obtidas durante a fase inicial do projeto da linha de transmissão.

Ela é projetada para resistir às cargas mecânicas transmitidas pelo cabo-fase e também para lidar com as sobretensões, situações em que, por diversas razões, a tensão elétrica ultrapassa os valores previamente estabelecidos para a instalação. Nas LTs de alta tensão, os isoladores que compõem a cadeia podem ser fabricados de materiais como vidro, porcelana ou polímeros.

Para possibilitar a transmissão eficaz de energia elétrica entre as usinas geradoras e as centrais de distribuição, utiliza-se o cabo-fase, também conhecido como cabo condutor. Este cabo é considerado o componente ativo de uma LT, pois sua função principal é transportar a energia elétrica. Dependendo do tipo de suporte ao longo da linha, o cabo-fase pode operar suspenso ou tracionado.

Na configuração de uma LTA, os cabos-fase são desprovidos de isolamento e são conhecidos como cabos nus. Esses cabos podem ser fabricados a partir de materiais como alumínio, liga de alumínio-aço e alumínio com alma de aço.

A escolha do alumínio é motivada pela sua abundância, boa condutividade elétrica e, sobretudo, pelo seu custo mais baixo em comparação com outros metais, como o cobre. Vale ressaltar que, durante o processo de projeto da linha, a escolha do tipo de cabo não se restringe apenas a considerações técnicas, mas também leva em conta aspectos econômico.

Os isoladores desempenham um papel terminante nas linhas de transmissão de energia elétrica, proporcionando suporte aos cabos condutores e isolando eletricamente a linha do suporte metálico para evitar a fuga de corrente. Existem diferentes tipos de isoladores utilizados em linhas de transmissão, cada um projetado para atender a requisitos específicos.

3.4.1 Isoladores de Porcelana

Suspensão de Porcelana: normalmente usados em linhas aéreas, esses isoladores são compostos por discos de porcelana empilhados com um pino metálico no centro.

Fornecem isolamento elétrico eficaz em linhas de transmissão de alta tensão.

Pendurais de Porcelana: similar aos isoladores de suspensão, mas com configuração em "pingente", frequentemente utilizados em subestações.

3.4.2 Isoladores de Vidro Temperado

Suspensão de Vidro Temperado: possuem um corpo de vidro temperado, são mais leves que os de porcelana e oferecem isolamento elétrico semelhante.

3.4.3 Isoladores Poliméricos

Suspensão de Polímero: fabricados com materiais poliméricos, oferecem boa resistência a condições ambientais adversas, como corrosão e poluição. Leves e de fácil instalação, tornando-os uma escolha popular em linhas de transmissão.

Vergalhões de Polímero: utilizados para aplicações em subestações e linhas de transmissão, são feitos de material polimérico reforçado com fibra de vidro.

3.4.5 Isoladores Especiais

Isoladores Híbridos: combinam diferentes materiais, como porcelana e polímeros, para obter características específicas de isolamento e resistência.

Os isoladores são selecionados com base na tensão da linha, condições ambientais, requisitos de manutenção e durabilidade, garantindo a segurança e o desempenho adequado das linhas de transmissão de energia elétrica.

Capítulo 4

"O elo invisível que conecta comunidades, a distribuição de energia elétrica ilumina vidas e impulsiona o progresso."
"Na rede de fios e cabos, a distribuição de energia eletrifica sonhos, conecta pessoas e tece o futuro."
"A energia viaja pelas linhas, a distribuição espalha luz e vida, iluminando o caminho para um amanhã brilhante."
"A distribuição de energia elétrica é o fio condutor que tece a teia da modernidade, alimentando o pulso da sociedade."
"De poste em poste, a distribuição de energia tece uma rede de oportunidades, levando luz e possibilidades a todos os cantos."

4 DISTRIBUIÇÃO

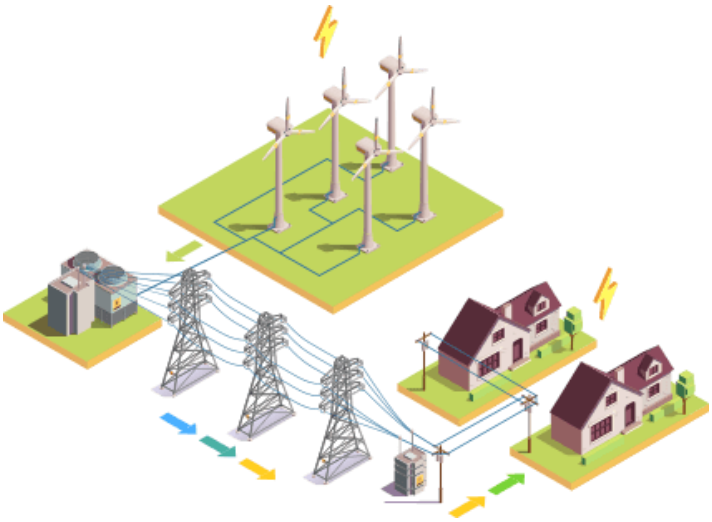


Figura 4- A Distribuição de energia elétrica.
Fonte: https://inbraep.com.br/ (2021)

As subestações de distribuição desempenham um papel capital ao conectar-se ao sistema de transmissão e realizar a redução da tensão de transmissão para um nível médio, que geralmente varia de 2 kV a 35 kV, usando transformadores.

Em seguida, as linhas de distribuição primária assumem a responsabilidade de transportar essa média tensão até os transformadores de distribuição, que são posicionados próximos às instalações dos clientes.

Nestes transformadores, a tensão é novamente reduzida para um nível adequado para o uso por dispositivos elétricos, e essa eletricidade é então fornecida a vários clientes por meio de linhas de distribuição secundária, que operam em níveis de baixa tensão.

Os clientes comerciais e residenciais são conectados às linhas de distribuição secundária através dequedas de serviço. Em casos em que a demanda deenergia é muito alta, é possível que clientes sejam conectados diretamente à rede de distribuição primária ouà rede de subtransmissão.

A responsabilidade pela distribuição de energia elétrica e outros processos relacionados a esse sistema recai sobre as empresas de distribuição local.

A distribuição pode ocorrer por meio de redes aéreas, onde postes são usados para suportar os cabos elétricos, o que é comum em áreas rurais e suburbanas. Por outro lado, a distribuição também pode ser realizada por meio de redes subterrâneas, nas quais cabos elétricos são instalados sob o solo, dentro de dutos subterrâneos. Esse método é frequentemente adotado em áreas urbanas e em zonas rurais sujeitas a regulamentos de segurança rigorosos.

A distribuição de energia elétrica é a fase do

processo de fornecimento de eletricidade que envolve a entrega da energia aos consumidores finais. Esta etapa abrange a rede de distribuição, que se estende desde as subestações de transmissão até os consumidores residenciais, comerciais e industriais.

4.1 Principais Aspectos da Distribuição de Energia

Rede de Distribuição: a rede de distribuição é composta por linhas de transmissão de média e baixa tensão, além de subestações que reduzem a tensão para níveis utilizáveis pelos consumidores.

Centros de Distribuição: são pontos-chave na rede, onde a energia é redistribuída para atender às diferentes demandas e cargas dos consumidores.

Medição e Faturamento: sistemas de medição são usados para calcular o consumo de energia de cada consumidor, facilitando a cobrança pelas empresas fornecedoras.

Manutenção e Reparos: a manutenção regular da rede é fundamental para garantir a operação eficiente e segura, além de reparos rápidos em casos de falhas.

Confiabilidade e Qualidade do Serviço: as empresas de distribuição buscam oferecer energia confiável e de qualidade aos consumidores, minimizando interrupções e variações na tensão.

4.1.1 Desafios e Inovações

Modernização da Infraestrutura: investimentos em tecnologia avançada para tornar as redes mais inteligentes, com automação e monitoramento em tempo real.

Integração de Fontes Renováveis: adaptar a rede de distribuição para acomodar a crescente integração de fontes de energia renovável, como solar e eólica.

4.1.2 Eficiência Energética

Promoção de práticas que reduzam o desperdício de energia e melhorem a eficiência na distribuição.

Resiliência e Segurança: adoção de medidas para fortalecer a resiliência da rede em face de desastres naturais e ameaças de segurança.

A distribuição de energia elétrica é uma etapa cruciforme que leva a eletricidade das usinas de geração aos consumidores finais, desempenhando um papel vital no funcionamento cotidiano das sociedades modernas.

4.2 Tipos de distribuição de energia elétrica

Existem diferentes tipos de sistemas de distribuição de energia elétrica, cada um projetado para atender a diferentes necessidades de fornecimento de eletricidade para os consumidores. Os principais tipos são:

4.2.1 Distribuição Aérea

Distribuição Primária Aérea: usada para transportar eletricidade de alta tensão das subestações para as áreas urbanas e rurais por meio de postes e fios aéreos.

Distribuição Secundária Aérea: entrega eletricidade de média tensão das linhas primárias para os consumidores finais por meio de fiação aérea.

4.2.2 Distribuição Subterrânea

Distribuição Primária Subterrânea: redes subterrâneas de alta tensão usadas em áreas urbanas e densamente povoadas para minimizar a interferência visual e oferecer mais confiabilidade.

Distribuição Secundária Subterrânea: redes subterrâneas de média tensão usadas para fornecer eletricidade diretamente aos consumidores finais, principalmente em áreas urbanas.

4.2.3 Micro e Minirredes

Microredes: sistemas independentes que podem operar de forma autônoma ou serem conectados à rede principal, geralmente utilizando fontes de energia renovável.

Minirredes: redes menores que podem fornecer eletricidade para uma comunidade específica ou área isolada, muitas vezes com uma combinação de fontes de energia.

4.2.4 Smart Grids (Redes Inteligentes)

Redes Inteligentes: sistemas integrados de distribuição que empregam tecnologia avançada, como sensores, comunicação e controle, para monitorar e gerenciar a rede de forma mais eficiente.

Esses diferentes tipos de distribuição de energia elétrica são escolhidos com base nas necessidades daárea de serviço, na densidade populacional, na infraestrutura existente e na capacidade de investimento, visando fornecer eletricidade de maneira eficiente e segura aos

consumidores.

4.3 A Distribuição de energia elétrica no Brasil

A distribuição de energia elétrica no Brasil é uma parte terminante do sistema elétrico nacional, garantindo o fornecimento confiável de eletricidade aos consumidores em todo o país.

As empresas de distribuição operam extensas redes de distribuição, realizando a entrega da energia das subestações até os consumidores finais, sejam residenciais, comerciais ou industriais.

4.3.1 Pontos Importantes sobre a Distribuição no Brasil

Extensa Rede de Distribuição: o Brasil possui uma vasta rede de distribuição, combinando sistemas aéreos e subterrâneos para levar energia a diferentes regiões, tanto urbanas quanto rurais.

Empresas de Distribuição: existem várias empresas de distribuição de energia elétrica operando em diferentes estados, supervisionadas por agências reguladoras.

Desafios de Infraestrutura: além de garantir a distribuição eficiente, o país enfrenta desafios de manutenção, modernização e expansão da infraestrutura para atender à crescente demanda e integrar fontes de energia renovável.

4.3.2 Investimentos em Tecnologia

Há esforços contínuos para modernizar as redes de distribuição, incluindo a implementação de tecnologias de medição inteligente e automação para aprimorar a eficiência e a confiabilidade.

Integração de Fontes Renováveis: com a crescente adoção de energias renováveis, a distribuição de energia elétrica no Brasil está se adaptando para acomodar fontes como energia solar, eólica e outras formas de geração limpa.

4.3.3 Desafios e Oportunidades Futuras

Melhoria da Eficiência Energética: a busca por práticas mais eficientes e sustentáveis na distribuição de energia elétrica é uma prioridade para reduzir perdas e otimizar a rede.

Resiliência do Sistema: investimentos em Resiliência para enfrentar desafios climáticos e aumentar a confiabilidade da rede elétrica.

4.3.4 Regulação e Investimentos

A regulação adequada e investimentos significativos são essenciais para enfrentar os desafios e aproveitar as oportunidades no setor de distribuição de energia elétrica.

A distribuição de energia elétrica no Brasil continua a evoluir, adaptando-se a novas demandas, tecnologias e desafios para garantir um fornecimento confiável e eficiente de eletricidade para os consumidores em todo o país.

4.3.5 Desafios proeminentes para a distribuição de energia elétrica

A distribuição de energia elétrica enfrenta vários desafios que impactam a eficiência, confiabilidade e sustentabilidade do fornecimento de eletricidade. Alguns desses desafios incluem:

Envelhecimento da Infraestrutura: muitos sistemas de distribuição têm infraestrutura envelhecida, o que pode resultar em maior probabilidade de falhas e custos crescentes de manutenção.

Crescente Demanda de Energia: o aumento constante na demanda de energia requer investimentos significativos em expansão e modernização das redes de distribuição para evitar sobrecargas.

Integração de Energias Renováveis: a crescente participação de fontes renováveis, como energia solar e eólica, exige adaptações nas redes de distribuição para gerenciar a variabilidade e a intermitência dessas fontes.

Resiliência a Desastres Naturais: desastres naturais como tempestades e furacões, podem causar danos às linhas de distribuição, exigindo planos de resiliência para restaurar rapidamente o fornecimento de energia.

Eficiência Energética: reduzir as perdas durante a distribuição é um desafio, pois a energia é dissipada sob a forma de calor ao longo das linhas e transformadores.

Tecnologia e Inovação: a rápida evolução tecnológica requer investimentos contínuos em inovações, como redes inteligentes, para melhorar a eficiência operacional e a capacidade de resposta.

Segurança Cibernética: a crescente digitalização das redes de distribuição aumenta a vulnerabilidade a ameaças cibernéticas, exigindo medidas robustas de segurança.

Regulação e Política Energética: desafios regulatórios podem surgir na implementação de políticas que incentivam a modernização da distribuição e a transição para fontes de energia mais limpas.

Participação Ativa dos Consumidores: à medida que os consumidores se tornam mais ativos na produção de energia por meio de sistemas de geração distribuída, a

integração dessas fontes na rede de distribuição apresenta desafios técnicos e regulatórios.

Transição Energética: a transição para uma matriz energética mais sustentável exige uma adaptação significativa nas redes de distribuição para acomodar diferentes fontes de energia e novos padrões dedemanda.

Superar esses desafios requer uma abordagem integrada que envolva investimentos em tecnologia, regulamentação eficaz, resiliência a eventos adversos e uma transição suave para fontes de energia mais limpas e sustentáveis.

A colaboração entre setor público e privado é essencial para enfrentar esses desafios e moldar o futuro da distribuição de energia elétrica.

A distribuição de energia é a fase final do processo de entrega de eletricidade, envolvendo a transferência da eletricidade das subestações para os consumidores finais.

Esse processo complexo ocorre por meio de uma extensa rede de distribuição que interliga áreas urbanas e rurais, garantindo o fornecimento seguro e confiável de eletricidade. Alguns pontos-chave podem ser destacados para entender o contexto da distribuição de energia:

Infraestrutura de Distribuição: com a rede de Linhas de Transmissão a eletricidade gerada nas usinas é transmitida em alta tensão por meio de linhas de transmissão até as subestações.

Rede de Distribuição Primária e Secundária: após a redução da tensão nas subestações, a eletricidade é distribuída por meio de redes primárias (de média tensão) e secundárias (de baixa tensão) para áreas residenciais, comerciais e industriais.

Postes, Cabos e Transformadores: a infraestrutura física inclui postes, cabos condutores, transformadores e

outros equipamentos necessários para conduzir a eletricidade de maneira segura e eficiente.

Existem desafios e Oportunidades, pela demanda crescente, pois o aumento na demanda de energia requer investimentos em infraestrutura para garantir a capacidade de atender a todas as necessidades.

Integração de Energias Renováveis: com a transição para fontes de energia mais limpas, a integração de energias renováveis na distribuição é um desafio euma oportunidade para reduzir as emissões de carbono.

Tecnologia e Inovação: o avanço tecnológico, incluindo a implementação de redes inteligentes, oferece oportunidades para melhorar a eficiência operacional e a resiliência da rede.

Eficiência Energética: reduzir as perdas durante a distribuição é uma meta importante para melhorar a eficiência energética do sistema.

Papel na Sociedade, fomentar o desenvolvimento econômico, uma distribuição eficiente de energia é essencial para o desenvolvimento econômico, facilitando a operação de empresas, indústrias e serviços.

Qualidade de Vida: a distribuição confiável de eletricidade melhora a qualidade de vida dos indivíduos, proporcionando acesso a serviços essenciais e melhorando as condições de habitação.

Inovação e Tecnologia: o setor de distribuição está se adaptando constantemente para incorporar inovações tecnológicas que promovem a sustentabilidade e a eficiência.

A distribuição de energia é multidimensional, abrangendo desde a infraestrutura física até as questões sociais e ambientais. O setor está passando por transformações significativas à medida que enfrenta

desafios emergentes e busca soluções para garantir um fornecimento de energia elétrica sustentável e acessível para todos.

Capítulo 5

"Nas subestações de energia, onde a tensão se transforma em potência e a eletricidade traça seu caminho para iluminar o presente e energizar o futuro."

5 SUBESTAÇÕES DE ENERGIA ELÉTRICA



Figura 5- Subestação de energia elétrica.
Fonte: https://blog.tecnogera.com.br/(2021)

As subestações de energia elétrica desempenham um papel nevrálgico no sistema elétrico, facilitando a transição eficiente da eletricidade desde as etapas de geração até a distribuição para os consumidores finais. Aqui estão alguns pontos para contextualizar o significado e a importância das subestações de energia elétrica:

Ponto de Transição: as subestações funcionam como pontos-chave de transição na rede elétrica, onde a eletricidade gerada nas usinas é transformada para atender às diferentes necessidades de tensão ao longo da rede.

Transformação de Tensão: transformadores nas subestações desempenham um papel vital na conversão da alta tensão, adequada para transmissão eficiente, para a tensão mais baixa utilizada em áreas residenciais e comerciais.

Distribuição Eficiente: a energia é distribuída apartir das subestações para as linhas de distribuição primárias, garantindo que a eletricidade seja entregue de maneira segura e confiável aos consumidores.

Controle e Monitoramento: subestações são equipadas com sistemas avançados de controle e monitoramento, permitindo a supervisão em tempo real e a resposta a eventos que possam afetar a qualidade e a confiabilidade do fornecimento de energia.

Adaptação a Novas Tecnologias: com a evolução das tecnologias, as subestações estão incorporando elementos de automação e digitalização, contribuindo para a criação de redes elétricas mais inteligentes e eficientes.

Segurança e Resiliência: subestações são projetadas com medidas de segurança robustas e são fundamentais para a resiliência do sistema elétrico, respondendo rapidamente a falhas e eventos adversos.

Integração de Energias Renováveis: com o aumento

da participação de fontes de energia renovável, as subestações desempenham um papel crucial na integração suave dessas fontes à rede elétrica.

Desafios Ambientais: desafios ambientais, como eventos climáticos extremos, podem afetar as operações das subestações, destacando a importância do design resistente e de planos de contingência.

Investimentos Contínuos: a manutenção, modernização e expansão contínuas das subestações exigem investimentos significativos para atender ao crescimento da demanda e incorporar novas tecnologias.

As subestações de energia elétrica representam pontos cruciais na infraestrutura elétrica global,permitindo a transição eficiente e confiável da eletricidade ao longo de toda a cadeia de fornecimento,desempenhando um papel fundamental na entrega deenergia para a sociedade.

5.1 Equipamentos de uma Subestação -SE

Em todas as Subestações (SEs), encontramos uma variedade de equipamentos essenciais, distribuídos tanto no pátio de manobras quanto na casa de comandos. Cada um desses equipamentos é projetado com funcionalidades específicas, e a escolha deles depende de critérios técnicos como tensão nominal, potência nominal e o tipo de SE em questão.

No pátio de manobras, podemos encontrar uma gama diversificada de equipamentos, incluindo barramentos, disjuntores, isoladores, chaves seccionadoras, transformadores de força, transformadores de potencial (TPs), transformadores de corrente (TCs), para-raios, entre outros.

A escolha de instalar esses equipamentos em estruturas de aço galvanizado ou concreto depende

diretamente do nível de tensão e potência da própria SE.

Já os equipamentos alocados na sala de comando geralmente consistem em cubículos blindados de médias e baixas tensões, conhecidos como "metal clad switchgear," painéis de medição, sala de baterias, geradores de reserva, entre outros.

É importante destacar que a sala de comandos é projetada para acomodar com segurança uma variedade de equipamentos, sendo a configuração e o tamanho da SE determinantes para o número e tipo de compartimentos presentes nesse espaço.

Para realizar a medição, a proteção e o controle nas SEs, são empregados cabos de controle de baixa tensão. Esses cabos são instalados em canaletas que interligam os equipamentos presentes no pátio demanobras aos painéis localizados na casa de comandos. Dessa forma, a comunicação e a operação segura dos equipamentos são garantidas, contribuindo para o correto funcionamento da subestação elétrica.

Numa SE existem três tipos de circuitos. O primeiro é o circuito principal, por onde flui, em alta tensão, a potência das entradas de linhas para as saídas de linhas. O segundo é o circuito de medição e proteção que saem pelos cabos conectados aos secundários dos TCs e TPs e alimentam, em baixa tensão, medidores e relés. O terceiro é o circuito auxiliar, que se destina a alimentação de serviços auxiliares na SE e à alimentação de retificadores e baterias que, por sua vez alimentam equipamentos de controle, proteção e comunicação em corrente contínua.

5.2 Barramentos

Barramentos são condutores reforçados situadosdas extremidades das SEs que possuem impedância desprezível

e que agem como nós no sistema de potência.Por eles uma SE recebe e redistribui a potência recebida através de linhas de transmissão.

A eles também podem ser conectados equipamentos como transformadores de força edisjuntores, por exemplo, dependendo de seu arranjo. Existe uma grande variedade de configuração de barramentos cujo projeto varia de acordo com aspectos técnicos e econômicos.

A configuração do barramento é uma característica muito importante de uma SE visto que ela afeta diretamente todo o seu esquema, a locação dos seus equipamentos e a sua operação sob condições normais e anormais e, principalmente, o seu custo.

Os principais tipos de barramentos encontrados nas SEs são:

- Barramento simples;
- Duplo barramento simples;
- Barramento simples seccionado;
- Barramento principal e de transferência;
- Barramento duplo com um disjuntor;
- Barramento duplo com disjuntor duplo;
- Barramento duplo com disjuntor e meio;
- Barramento em anel.

O barramento simples é utilizado em SEs de pequena potência e tem a vantagem de ser o de mais fácil operação e de menor custo. Porém, qualquer falha ou manutenção nele ocasiona o desligamento das cargas alimentadas por ele. Por isso, ele é conhecido por terbaixa confiabilidade. A sua representação é mostrada na figura 6.

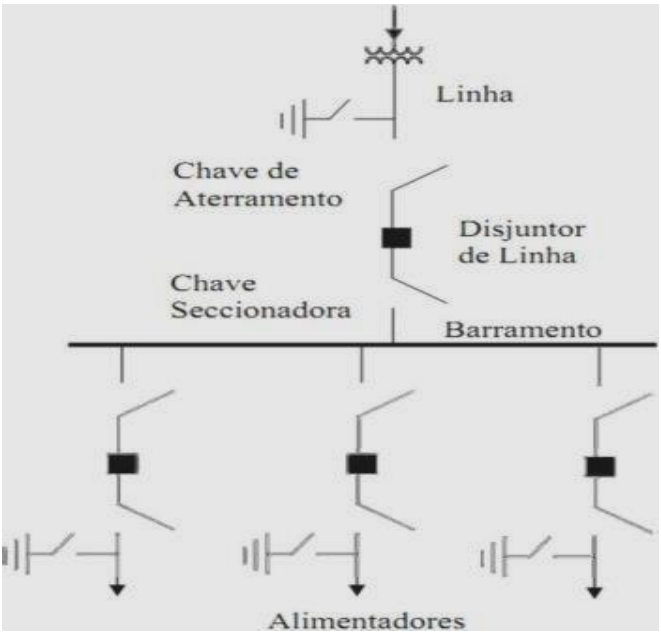


Figura 6: Barramento Simples
Fonte: O Autor

Se um consumidor possuir cargas prioritárias e não prioritárias, a configuração mais recomendada para ele é a de duplo barramento simples. Nela, as cargas prioritárias são conectadas a uma barra com geração e,

na falta da alimentação principal, o gerador entra e é capaz de suprir as cargas prioritárias.

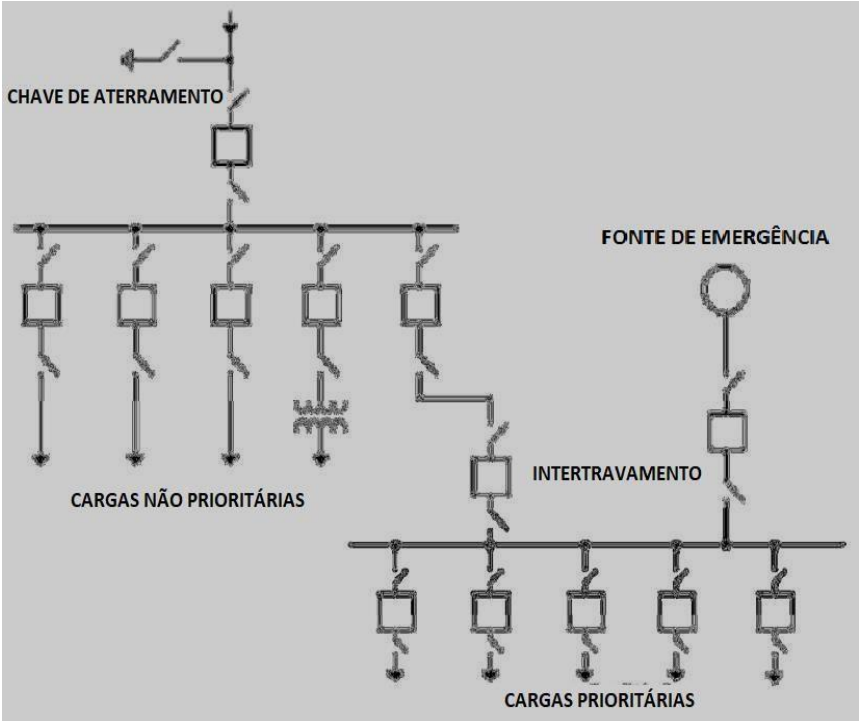


Figura 7- Duplo Barramento Simples
Fonte: O Autor

Na configuração de barramento simples seccionado, existe um disjuntor de interligação de barra ou chave seccionadora para interligar o barramento. Ela proporciona maior continuidade no fornecimento, pois permite que uma falha não desenergize a barra completamente, mas somente a parte referente ao lado em que ela ocorreu. Para maior confiabilidade geralmente

existem alimentadores dos dois lados do barramento seccionado pelo disjuntor. Isso aumenta a complexidade dos sistemas de automação e proteção da SSE. Essearranjo é encontrado em SEs de distribuição de pequeno porte.

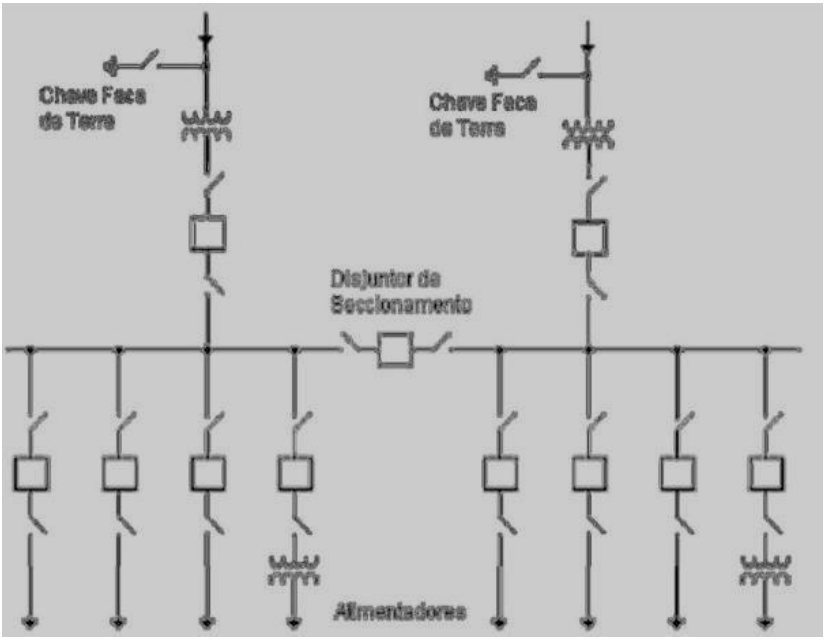


Figura 8 - Barramento Simples Seccionado

Fonte: O Autor

Quando a barra principal é ligada a uma barraauxiliar por meio de um disjuntor de transferência, tem-se a configuração de barramento principal e de transferência.O disjuntor de transferência garante a proteção de umbay da SE quando o disjuntor associado a esse bay é retirado de serviço para manutenção.

Para isso, são instaladas chaves de by-pass no bay do disjuntor a ser substituído, possibilitando, assim, a sua retirada de serviço sem a necessidade de interrupção do

fluxo de potência.

Nesse arranjo, o disjuntor de transferência pode substituir qualquer um dos disjuntores conectados ao barramento principal e é o único conectado diretamente às duas barras.

A transferência da proteção pode ser realizada com o auxílio de relés biestáveis que possibilitam o direcionamento do trip para o disjuntor relacionado ao bay (na posição normal, N), para o disjuntor de transferência (na posição transferido, T) ou para ambos (posição em transferência, ET).

O esquema de automação e proteção nesse caso é ainda mais complexo e pode ser ainda mais quando se tem o barramento principal seccionado, como no caso de SEs de distribuição de grande porte.

É importante notar que uma falha na barra principal ocasiona o desligamento das cargas do barramento. Esse arranjo também é mais caro que os mencionados anteriormente, pois adiciona um disjuntor sobressalente aos equipamentos da SE.

Em SEs de grande porte e importância é muito utilizado o esquema de barramento duplo com um disjuntor, que permite uma maior flexibilidade de manobras que o esquema de barramento principal e de transferência.

Neste arranjo, as linhas podem ser conectadas a qualquer um dos dois barramentos e, por isso, uma manutenção em um barramento não significa no desligamento da SE. Porém, o seu uso é restringido devido ao seu preço, pois além do disjuntor sobressalente usa-se o dobro de chaves seccionadoras nessa configuração.

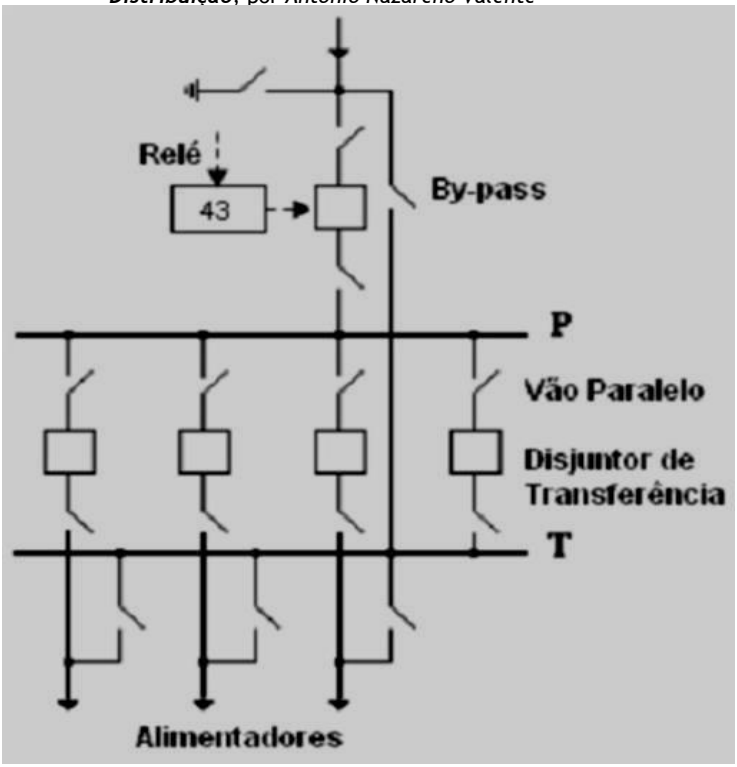


Figura 9 - Barramento Principal e de Transferência
Fonte: O Autor

5.3 Disjuntores

Os disjuntores são dispositivos automáticos projetados para interromper ou estabelecer correntes em um circuito, seja durante operações normais ou em situações de falhas.

No entanto, sua principal função é a rápida interrupção de correntes de curto-circuito. Para cumprir essa função, os disjuntores são combinados com relés de proteção. Esses relés, alimentados por sensores que monitoram as correntes nas fases do circuito, enviamsinais

para acionar o mecanismo do disjuntor, que abre seus contatos.

Quando os contatos de um disjuntor são separados por seu sistema de acionamento, ocorre a formação do arco elétrico. Esse arco é produzido quando a rigidezdielétrica do meio entre os contatos, anteriormente fechados, é rompida.

O arco cria um canal condutor em um ambiente altamente ionizado e eleva consideravelmente a temperatura ao seu redor. Esse canal condutor permite a continuidade da corrente até que ela atinja o valor zero no ciclo senoidal.

No entanto, se o meio permanecer ionizado no ciclo seguinte, há o risco de formação de um novoarco, o que pode ser prejudicial ao sistema. Portanto, junto com a abertura dos contatos, é necessária a substituição do meio dielétrico.

Outro aspecto importante a ser considerado é que a interrupção abrupta da corrente em um circuito pode resultar em sobretensões como forma de dissipação da energia armazenada no momento da interrupção.

Os disjuntores são classificados com base no meio usado para extinguir o arco elétrico, e essas classificações incluem:

- Ar comprimido;
- Óleo;
- Gás SF;
- Vácuo.

O sistema de acionamento do disjuntor é o mecanismo que armazena a energia necessária para a operação mecânica do disjuntor e controla sua operação. Quando é possível operar cada fase separadamente, o acionamento é chamado de monopolar.

Por outro lado, quando apenas a abertura e o fechamento das três fases podem ser realizados simultaneamente, o acionamento é chamado de tripolar. Existem diversos tipos de sistemas de acionamento de disjuntores, incluindo:

- Solenoidal;
- Mola;
- Ar comprimido;
- Hidráulico.

No contexto do sistema elétrico, a tensão na qual os usuários finais conectam seus equipamentos geralmente difere daquela gerada nas usinas de geração. Nesse sentido, os transformadores de força desempenham um papel crucial na transferência de energia entre diferentes níveis de tensão. Os transformadores têm duas principais aplicações: elevação da tensão de entrada, conhecidos como transformadores elevadores, frequentemente utilizados em subestações próximas às usinas geradoras; e redução da tensão de entrada, que são os transformadores abaixadores mais comumente empregados.

Em um transformador real, há perdas associadas ao processo de conversão de energia, e essas perdas são representadas no circuito elétrico equivalente de um transformador, conforme ilustrado na imagem 05.

Neste diagrama, R1 representa a resistência do enrolamento primário, enquanto Xℓ1 representa a reatância de dispersão do primário. A reatância de dispersão é responsável pelo surgimento de uma tensão induzida que se adiciona àquela produzida pelo fluxo mútuo e varia linearmente com a corrente Î1 no primário.

Além de magnetizar o núcleo, a corrente no primário também precisa fornecer energia para a carga conectada

ao secundário do transformador.

Portanto, é conveniente dividir a corrente do primário em duas componentes: a corrente de excitação, Î, que é não senoidal e cria o fluxo mútuo resultante, e a corrente de carga, 2Î′, que contrabalança a força magnetomotriz da corrente no secundário, Î′. Matematicamente, a corrente de carga do primário é igual à corrente no secundário referida ao primário, Î2, como se fosse um transformador ideal.

A corrente de excitação, Î, pode ser decomposta em duas partes: uma componente de perdas no núcleo, Îc, que flui através da resistência de magnetização, e uma componente de magnetização, Îm, que flui através da reatância de magnetização. Essas duas componentes formam o ramo de excitação, conforme mostrado na imagem 05. Além disso, a figura também evidencia a presença da resistência do secundário referida ao primário, R, e da reatância de dispersão do secundário referida ao primário, X′.

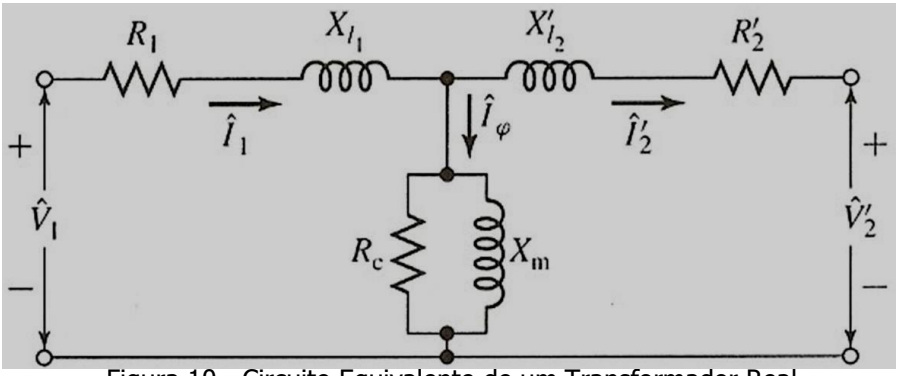


Figura 10 - Circuito Equivalente de um Transformador Real
Fonte: O Autor

Os transformadores de força mais comumente

encontrados são os monofásicos e os trifásicos. Os transformadores monofásicos são individualmente mais baratos e podem ser usados em conjunto para formar um banco trifásico de transformadores, dando maior confiabilidade ao sistema por ele alimentado.

Os transformadores trifásicos são os mais utilizados no sistema de potência. Em ambos os casos, o acesso aos terminais das bobinas é feito por meio das buchas de primário e secundário segundo as características elétricas do transformador.

Um transformador trifásico pode ter os seus enrolamentos ligados de três maneiras conforme seja mais adequado para a sua aplicação: triângulo (ou delta), Figura 11, estrela, Figura 12 e zigue-zague, Figura 13.

Na ligação triângulo, a tensão de linha é medida entre dois terminais do transformador e a corrente que entra em um terminal é a corrente de linha.

A corrente de fase circula nas bobinas. Na ligação estrela, a tensão medida entre dois terminais do transformador é a tensão de linha e a corrente que entra em um terminal é a corrente de linha.

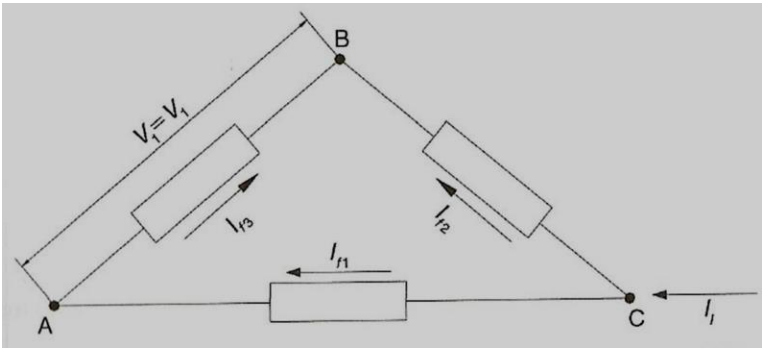


Figura 11: Ligação das Bobinas em Triângulo

Fonte: O Autor

A tensão medida entre o ponto comum e um terminal é chamada tensão de fase.

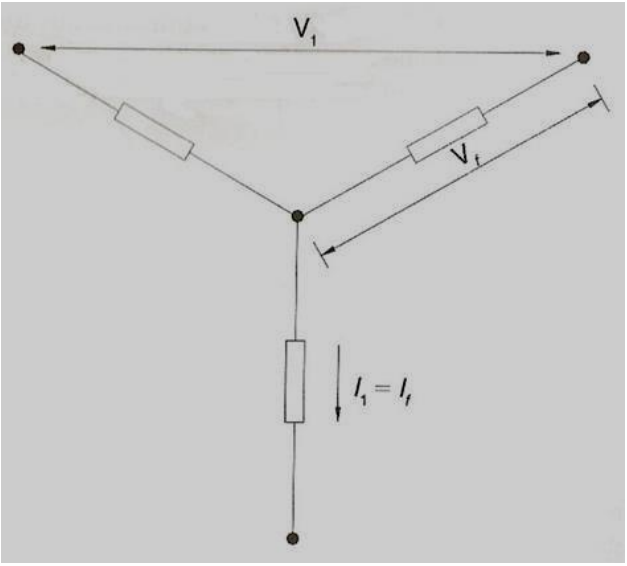


Figura 12- Ligação das bobinas em estrela

Fonte: O Autor

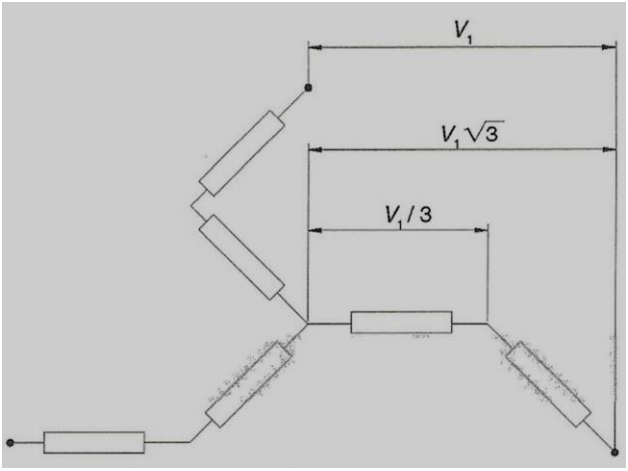


Figura 13- Ligação das Bobinas em zigue-zague

Fonte: O Autor

Na ligação zigue- zague tem-se a atenuação dos harmônicos de 3 a ordeme a possibilidade de se obter três tensões de utilização. Porém, transformadores com esse tipo de ligação têm um custo mais elevado que os transformadores com as ligações anteriormente mencionadas.

A voltagem registrada entre o ponto compartilhado e um terminal é conhecida como voltagem de fase. No arranjo zigue-zague, ocorre a redução dos harmônicos de terceira ordem, e há a capacidade de obter três voltagens utilizáveis. No entanto, transformadores com esse tipo de configuração são mais dispendiosos em comparação com os transformadores com as ligações mencionadas anteriormente.

5.4 Chaves Seccionadoras

As chaves seccionadoras são dispositivas de manobra que, na posição aberta, garantem a distância de isolamento requerida pelo nível de tensão do circuito. Elas são instaladas de maneira a possibilitar a isolação de um circuito da SE para manutenção.

As chaves não devem ser operadas em carga, mas sempre em conjunto com um disjuntor, isto é, só se deve abrir uma chave depois de o seu disjuntor correspondente ser aberto e ela sempre devem ser fechada antes do fechamento desse disjuntor. Na figura 14 é ilustrada uma chave seccionadora tripolar de comando simultâneo.

O circuito principal de uma chave seccionadora é constituído das partes condutoras que se inserem no circuito em que a chave opera. A parte da chave seccionadora associada exclusivamente a um caminho

condutor, excluídos o suporte isolante, a base e todos os elementos de operação simultânea, é conhecida comopólo. A chave seccionadora da figura 14 é tripolar, pois possui três dessas partes.



Figura 14- Chave Seccionadora Tripolar de Comando Simultâneo
Fonte: O autor

Os terminais da chave seccionadora fazem a ligação da chave com o circuito no qualela está inserida e os seus contatos são as peças metálicas responsáveis por assegurar a continuidade do circuito quando se tocam.

Os contatos da chave são abertos ou fechados por meio do dispositivo de operação, que pode ser manual ou motorizado. Após a realização de uma manobra, o dispositivo de bloqueio indica ao operador a posição dos contatos da chave e a trava para evitar uma operação acidental.

As chaves de aterramento são conectadas entre as

linhas de transmissão e a terra e quando a linha é retirada de serviço para manutenção, essas chaves, que são normalmente abertas, são fechadas para que seja descarregada a tensãoarmazenada na capacitância formada pela linha de transmissão e a terra.

As chaves seccionadoras podem apresentar as seguintes configurações:

- Seccionadores de abertura lateral singela;
- Seccionadores de abertura central;
- Seccionadores de dupla abertura central;
- Seccionadores de abertura vertical;
- Seccionadores pantográficos.

A especificação de chaves seccionadoras requer a indicação dos seguintes itens

- Tensão nominal;
- Corrente nominal;
- Frequência nominal;
- Corrente nominal suportável de curta duração;
- Duração da corrente suportável de curto-circuito;
- Valor de crista nominal da corrente suportável;
- Tensão de operação dos circuitos auxiliares;

Tensão nominal dos dispositivos de comando.

5.5 Pára-Raios

Os pára-raios são equipamentos responsáveis por reduzir o nível de sobretensão, seja ela por descargas atmosféricas ou por manobras, a valores compatíveis com a classe de isolação dos equipamentos que ele protege. Eles podem ser utilizados na proteção de vários equipamentos de uma SE ou simplesmente de um transformador de distribuição em um poste. Em SEs, eles normalmente estão

instalados nas entradas e saídas de linhas, podendo, também, conforme estudo para avaliaçãoda necessidade, ser instalados nos barramentos mais próximos dos transformadores.

Segundo a NBR-5424, os para-raios são divididos em classes. A classe estação subdivide-se em serviço leve e pesado.

Para serviço leve existem para- raios de 20kA, 15kA e 10kA. Para serviço pesado existem para-raios de 10kA.A classe distribuição possui para- raios de 5kA séries A e B. Por fim, a classe secundária possui para-raios de 1,5kV.

Os para-raios de 10kA são aplicados em SEs acima de 69kV e asseguram melhores níveis de proteção. Em seguida, vêm os para-raios de 5kA série

A que são aplicados em sistemas de transmissão abaixo de 69kV e depois os para-raios de 5kA série B que são usados na proteção de transformadores de distribuição.

Os para-raios da classe secundária têm pouca aplicação em instalações industriais e são mais comumente usados em entradas de consumidores de baixa tensão.

São utilizados em sistemas de transmissão com tensão inferior a 69 kV, enquanto os para-raios série B de 5 kA são empregados na proteção de transformadores de distribuição.

Para-raios da categoria secundária possuem aplicações limitadas em instalações industriais, sendo mais frequentemente empregados nas entradas de consumidores de baixa tensão. Na figura 15 é mostrado um para-raios estação polimérico.



Figura 15: Para-raios Estação Polimérico
Fonte: O Autor

5.5.1 Especificação De Para-Raios

Na compra de um para-raios devem ser especificados os seguintes dados:

- Tensão nominal;
- Tensão disruptiva máxima de impulso atmosférico;
- Tensão residual máxima sob corrente de descarga nominal;
- Tensão disruptiva à frequência industrial;
- Tensão disruptiva máxima por surto de manobra;
- Corrente de descarga nominal;
- Classe;
- Tipo de resistor não-linear

As subestações de energia elétrica desempenham um papel essencial na infraestrutura elétrica, facilitando a transição eficiente da eletricidade desde a geração até a distribuição para os consumidores finais.

Esses pontos cruciais de transição desempenham funções vitais, como transformação de tensão, distribuição eficiente, controle e monitoramento avançado, integração de energias renováveis e resiliência operacional.

As subestações representam um elo crucial na cadeia de fornecimento de eletricidade, permitindo a adaptação a novas tecnologias, garantindo segurança e resiliência do sistema, e contribuindo para a criação de redes elétricas mais inteligentes.

Embora o investimento em subestações, especialmente aquelas equipadas com tecnologias inovadoras, possa envolver custos mais elevados, sua importância estratégica para a confiabilidade e eficiência do fornecimento de energia elétrica destaca a necessidade contínua de modernização e expansão dessas infraestrutura vital.

Capítulo 6

"No coração da eletricidade, o projeto da subestação é a sinfonia de engenharia que harmoniza a transformação e distribuição da energia, iluminando o caminho para um futuro mais brilhante."

6. PROJETO DA SUBESTAÇÃO

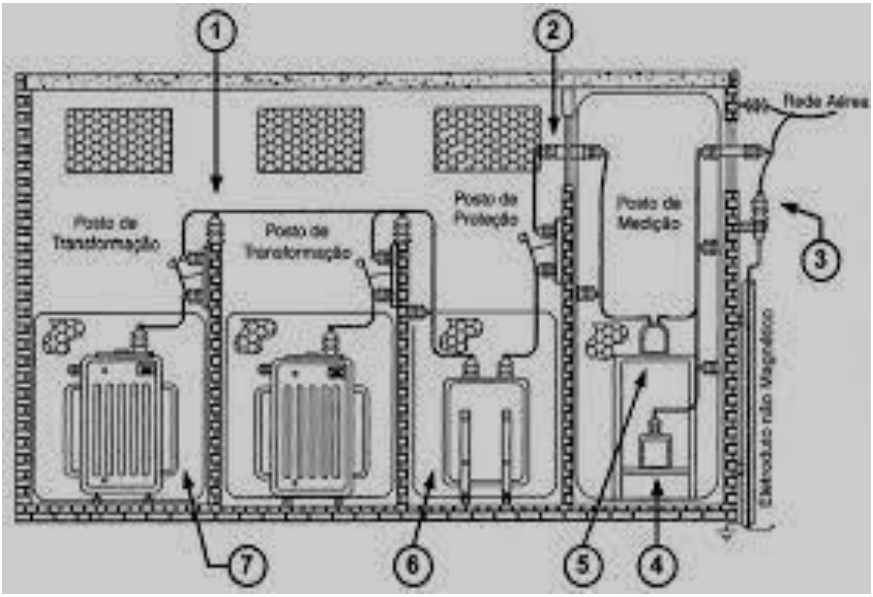


Figura 16- Projeto de subestação
Fonte: O autor

O processo de implantação de uma SE é constituído dos seguintes subprocessos:

- Planejamento;
- Projeto Civil;
- Projeto Eletromecânico;
- Projeto Elétrico;
- Processo de Compra;
- Comissionamento;
- Energização.

Esses subprocessos não são necessariamente sequenciais, uma vez que alguns deles necessitam de entradas que são fornecidas por outros processos.

6.1 Planejamento

A concepção de uma SE começa com o seu planejamento. Para isso, deve ser feito um estudo extremamente criterioso sobre a carga que ela deve alimentar, bem como a projeção do seu crescimento.

Além do conhecimento profundo da carga, também é importante conhecer o sistema, pois uma SE pode, ao mesmo tempo, suprir uma carga e funcionar como uma carga para SEs a montante.

O estudo do fluxo de potência é o mais corriqueiro método para solução da rede elétrica em regime permanente de operação e geração.

Nele, através de dados de entrada, como geração e consumo de potência ativa e reativa em determinadas barras do sistema, são desenvolvidos métodos matemáticos, visando à convergência no cálculo do módulo e do ângulo das tensões em algumas barras do sistema.

Assim, pode-se determinar o fluxo de potência ativa e reativa nos elementos da rede. Atualmente, o estudo do fluxo de potência é uma das ferramentas iniciais para estudos de curto-circuito e de estabilidade.

Também existe o estudo do fluxo ótimo de potência, que fornece a melhor configuração da rede visando minimizar os custos de operação e reduzir as perdas.

Além do estudo para análise do sistema de potência, uma análise sócio econômica também deve ser realizada para um bom planejamento de qualquer sistema elétrico, seja ele de uma concessionária de distribuição de energia elétrica, de uma indústria e, até mesmo, de uma residência.

Fatores como crescimento da população de uma dada região, incentivos governamentais para instalação de novas indústrias ou aumento da produção pelo recebimento de novas encomendas de produtos, podem impactar no consumo de energia desses subsistemas e alterar a forma como eles são supridos.

Neste sentido, no planejamento da SE considera-se o crescimento vegetativo da carga.

6.2 Projeto Civil

O Projeto Civil de uma SE parte de estudos da situação do terreno reservado para a construção da SE e determina, em suas plantas e memoriais, a necessidadede realização de obras preliminares como raspagem e terraplanagem, por exemplo.

Uma vez especificada a condição do terreno para o início das obras de construção da SE, o Projeto Civil segue intimamente ligado ao Projeto Eletromecânico da SE, pois a disposição de equipamentos, postes, acessos, canaletas e a posição de entradas e saídas de linhas podem influenciar diretamente nos materiais e na forma como

serão projetadas as drenagens e pavimentações, edificações, bases e fundações para postes e equipamentos e instalações hidro-sanitárias.

6.3 Projeto Eletromecânico

O ponto de partida do Projeto Eletromecânico é o Diagrama Unifilar da SE. Nele, é definido o esquema da SE e apontados os seus equipamentos. Então se dá a definição das plantas baixas com localização das estruturas, bases e acessos para instalação dos equipamentos, proporcionando a elaboração da planta denominada arranjo físicos.

Nele também são dimensionadas e posicionadas as canaletas e eletrodutos de interligação dos equipamentos à casa de comando.

A medição da resistividade do solo, o cálculo e elaboração da planta malham de terra, o aterramento de equipamentos, cercas e portões, o dimensionamento dos condutores do circuito principal da SE e a blindagem de proteção contra descargas atmosféricas também fazem parte do escopo do projeto eletromecânico.

6.4 Projeto Elétrico

O Projeto Elétrico parte do diagrama unifilar de proteção e medição e detalha a filosofia das proteções e controle dos equipamentos da SE.

A interligação entre os transformadores de instrumentos e os relés de proteção é explicitada nesse projeto, bem como o dimensionamento dos cabos necessários para essas ligações. Esses dados geralmente constam também nos diagramas trifilares.

Os diagramas funcionais do Projeto Elétrico mostram as fiações destinadas à supervisão dos equipamentos seus comandos e eventuais trips. Também constam no Projeto Elétrico os detalhes de instalação dos equipamentos nos quadros de comando localizados na casa de comando.

6.5 Projeto de Automação

Conceitualmente, a automação do projeto elétrico é objeto de um projeto a parte. Na prática, contudo, não se faz distinção entre um e outro, tamanha foi a incorporação da automação pelos projetistas responsáveis pelo projeto elétrico.

O objetivo do Projeto de Automação é a economia nas funcionalidades do Projeto Elétrico sem a perda desua confiabilidade. Ele utiliza equipamentos microprocessados para implementar as funções de proteção e controle em uma SE.

Com o aumento da velocidade de comunicação entre equipamentos, a queda no seu custo de aquisição e a consolidação de um protocolo de comunicação padrão entre eles, há uma tendência de incorporação do Projeto de Automação pelo Projeto Elétrico em projetos de SEs dealta tensão.

O sistema de automação de SEs tem sua arquitetura formada em quatro níveis, são eles: 0, 1, 2 e3.

No nível 0, o comando dos equipamentos se faz no quadro de comando do próprio equipamento localizado no pátio da SE. No nível 1, existe uma unidade de controle de posição (UCP), microprocessada, por vão e de operação em tempo real.

A UCP possui todas as funções relativas às operações dos equipamentos a ela relacionados. O nível 2 realiza todas as funções de monitoramento e controle da SE, além de se

comunicar com os níveis 1 e 3. Ele é composto por uma unidade de controle da SE (UCS), um PC industrial que faz a interface homem-máquina (IHM) e a rede local.

O nível 3 permite a observação, a operação e a administração da SE externamente à própria SE. O local de onde se controla a SE nesse nível é comumente chamado de centro de controle do sistema (CCS) [11]. Normalmente, a automação de SEs industriais vai até o nível 2, ficando o nível 3 para SEs de transmissão e distribuição de energia elétrica.

6.6 Processo de Aquisição

Uma vez determinados dados de alimentação da SE como tensão de entrada e níveis dos curtos-circuitos no ponto de entrega, é possível fazer a especificação dos equipamentos a serem instalados nela. Porém, como já mencionado anteriormente, esse não é um processo isolado, visto que outros fatores, como, por exemplo, o layout da SE, também influenciam na especificação desses equipamentos.

6.7 Comissionamento

O comissionamento é a etapa de testes após a construção da SE. Nele é verificado se a SE foi construída conforme o projeto aprovado pelo contratante e se o mesmo segue todas as suas especificações de qualidade.

São também efetuados procedimentos operacionais padrões para a verificação do desempenho dos equipamentos de manobra, proteção e medição. As obras civis também devem ser observadas.

6.8 Energização

Depois de realizados, na fase de comissionamento, todos os testes necessários para garantir a confiabilidade e a segurança da instalação, se atender a todos os requisitos normativos, a SE será liberada para a energização.

Nessa etapa, o corpo técnico responsável pelo projeto, construção, fiscalização, operação e manutenção da SE deve estar presente.

Capítulo 7

"No invisível, o projeto eletromecânico da Subestação Fantasma ganha forma, tecendo a energia que flui além dos olhos, uma engenharia espectral que impulsiona o futuro da eletricidade."

7. PROJETO ELETROMECÂNICO DA SE FANTASMA

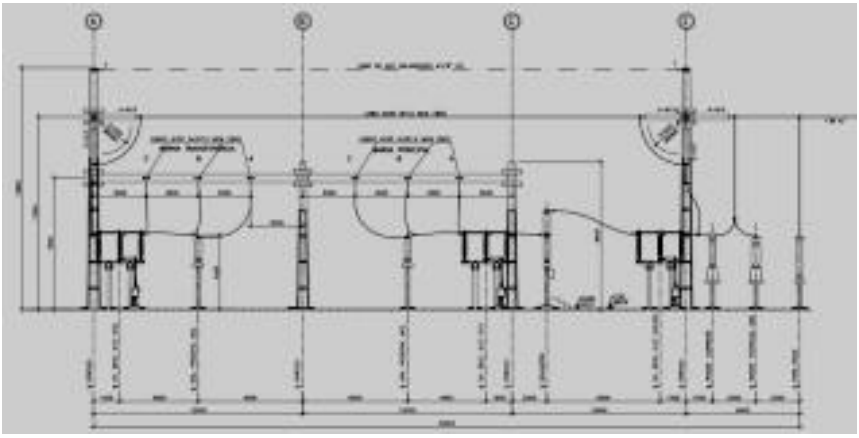


Figura 17 – Planta de uma subestação
Fonte: O Autor

A introdução ao projeto eletromecânico da Subestação Fantasma marca o ingresso em um mundo singular, onde a engenharia se entrelaça com a invisibilidade.

Este projeto, repleto de inovação e imaginação, transcende as fronteiras do convencional, desafiando o ordinário e explorando novas dimensões na transformação e distribuição da energia elétrica.

Ao adentrar nesse domínio fantasmagórico da eletromecânica, somos guiados por uma visão única, onde a engenharia se torna arte e a eletricidade, uma dança misteriosa entre o tangível e o etéreo.

7.1 Planejamento da SE Fantasma

Nesta etapa foi solicitada uma Avaliação de Viabilidade Técnica (AVT) na concessionária e definida as principais características da instalação: SE 69/13,8 kV, potência inicial 5/6,25 MVA com previsão de expansão e três alimentadores de 13,8kV.

7.2 Escolha do Terreno

Na escolha do terreno para a localização de uma SE foi levado em consideração a sua distância para o centro de cargas, bem como as suas vias de acesso e a infra-estrutura disponível.

7.3 Malha de Terra

A malha de terra deverá ser enterrada 50 cm abaixo do nível da terraplanagem e suas interconexões, conexões às hastes de aterramento e aos trilhos dos transformadores

deverão ser feitas com solda exotérmica. As conexões de equipamentos, estruturas e demais partes metálicas devem ser do tipo aparafusado.

Nos aterramentos da SE deverão ser usadas hastes de aterramento de aço cobreado. As hastes devem ser dispostas conforme a o quadro 1.

Descrição	Número de hastes
Aterramento do neutro do transformador de potência	01
Aterramento do neutro do transformador de serviços auxiliares	01
Aterramento do conjunto de cada três para-raios	01
Aterramento dos ângulos agudos nos cantos das malhas	03 ou 04
Aterramento dos cantos da casa de comando	04, sendo uma em cada canto

Quadro 1- Hastes de aterramento
Fonte: O Autor

Além disso, deverão ser postas hastes de 12 em 12 metros na periferia da malha de terra e uma caixa de inspeção para medição da resistência da malha de terra em cada pátio da SE.

7.4 Estudo da Resistividade do Solo

O sistema de aterramento deverá ser calculado com base no estudo preliminarda resistividade do solo.

A medição da resistividade deverá ser efetuada empregando o método de Werner, segundo a NBR-7117. Para que se atinja uma maior precisão nos cálculos da malha fundamentados nas medições da resistividade do solo, é importante que elas sejam feitas após a terraplanagem.

7.5 Condutores da Malha de Terra

Foram realizados estudos históricos dos cálculos de malha de terra das SEs da COELCE e os resultados apontaram para a padronização dos condutores da malha de 70 mm^2, 95 mm^2 e 120 mm^2.

O aterramento de estruturas, equipamentos, portões e demais partes metálicas deve ser feito através de cabo de cobre nu de 70 mm^2.

7.6 Blindagem

A proteção contra descargas atmosféricas é feita por hastes para-raios montadas sobre as estruturas, para os pátios de 72,5 kV e 15 kV, respectivamente.

No critério de distribuição das hastes foi considerado um ângulo de proteção e cobertura de 30°, conforme. O aterramento das hastes para-raios deverá serfeito na malha de terra por meio de solda exotérmica.

7.7 Estruturas

No projeto da SE FANTASMA, foram utilizadas estruturas de concreto armado padronizadas.

7.8 Entrada de Linha

Na EL de 69 kV foi projetado um pórtico com postes tipo B-1,5, de 12 m e engastamento de 1,80 m, e, para a fixação dos cabos de liga Al nu de 315mm², foi especificada uma cadeia de ancoragem com alça pre formada presa em uma viga Tipo H/I de 230x310x7100 mm com montagem horizontal.

Essa viga deverá ser suportada por dois anéis triplos tipo B-3 de dimensão interna 230x285 mm. Ainda nesse pórtico, foi projetada a instalação de para-raios tipo estação fixados em uma viga Tipo H/I de 230x310x7100 mm com montagem horizontal suportada por dois anéis triplos tipo B-6 de abertura interna 290x370 mm.

O conjunto de medição para faturamento, fornecido pela RORAIMA ENERGIA, formado por dois TCs e três TPs, será instalado sobre postes do tipo B, de 4,5 m de comprimento e engastamento de 2 m, e fixados em suportes Capitel tipo B-1 de abertura interna 230x200mm.

Para a instalação da chave seccionadora tripolar com lâmina de terra foi projetada uma estrutura formada por dois postes do tipo B, de 4,5 m de comprimento e engastamento de 2 m, dois suportes Jabaquara tipo B-3, modelo LT, de 1.630 mm e duas vigas tipo Maciça de 120x170x4600 mm, com montagem vertical.

Os TCs de proteção que serão associados ao relé do disjuntor 12L1 serão instalados em uma estrutura formada por três postes do tipo B, de 4,5 m de comprimento e engastamento de 2 m e suportes Capitel

tipo B-1 de abertura interna 230x200 mm.

7.9 Barramento 72,5 KV

O barramento de 72,5 kV, formado pelo mesmo cabo da EL de 72,5 kV, liga Al nu de 315mm², será preso nas duas extremidades por duas cadeias de ancoragem com alça preformada.

As cadeias de ancoragem serão fixadas em duas vigas Tipo H/I de 230x310x7100 mm com montagem horizontal, sustentadas por quatro anéis triplos tipo B-3de dimensão interna 230x285 mm em postes tipo B de 10,5 m e engastamento de 2,1 m, que formam o pórtico para o barramento de 72,5 kV.

Nesse pórtico do lado do disjuntor de 72,5 kV, foram projetados duas colunas de isoladores de 72,5 kV, uma fixada pelo topo e outra fixada pela base, para diminuir a tração suportada pelo cabo devido à distância entre a bucha de saída do disjuntor de 72,5 kV e o ponto de conexão ao barramento de 72,5 kV. Estas colunas estão fixadas em uma viga Tipo H/I de 230x310x7100 mmcom montagem horizontal, sustentada por dois anéis triplos tipo B-6 de dimensão interna 230x285 mm.

No mesmo pórtico do barramento de 72,5 kV, mas distante 17 m da base do disjuntor de 72,5 kV, foi projetada a instalação de três para-raios tipo estação na mesma viga de fixação da cadeia de ancoragem do barramento de 72,5 kV. Ainda nestes dois postes foi deixada, de reserva para eventuais necessidades futuras, dois anéis triplos tipo B-6 de abertura interna 290x370mm.

Devido à distância e a diferença de altura existente entre a bucha de saída do transformador de potência 02T1 e a cadeia de ancoragem de 15 kV para cabos de 240 mm², não seria possível a ligação direta do

transformador com a respectiva ancoragem de 15 kV.

Portanto, foi decidido incluir no projeto um poste do tipo B, de 10,5 m de comprimento e engastamento de 2,1 m, com um anel triplo tipo B-3 de abertura interna 230x285 mm para a fixação de uma segunda cadeia de ancoragem de 15 kV, que, juntamente com a cadeia de ancoragem instalada no lado BT do Trafo 02T1, sustentarão os cabos Cu nu de 240 mm² que, por meio deconectores T serão ligados às buchas BT do transformador02T1. Este poste foi posicionado a 7,5 m das estruturas de suporte do barramento de 72,5 kV e alinhado com elas no lado mais próximo do transformador.

7.10 Barramento de 15 KV

A estruturas suporte do barramento de 15 kV foi projetada de acordo com o número de alimentadores de 13,8 kV. Basicamente, ela é formada por duas fileiras de postes tipo B de 10,5 m e engastamento de 2,1 m, que formam dois quadrados de lado 3,5 m que compartilham um lado.

Essa estrutura modular de barramento permite a expansão de alimentadores em função da carga de maneira econômica e simplificada.

No primeiro módulo, abaixo da estrutura em que será fixada a cadeia de ancoragem dos cabos de 15 kV vindos das buchas BT do transformador 02T1, ficam os bays do disjuntor 11T1 e do religador 21L1. As chaves seccionadoras unipolares – 31T1-4, 31T1-5, 31L1-4 e 31L1-5 – são de montagem vertical e serão instaladas em duas vigas, por bay, do tipo Maciça de 120x170x3100 mm e montagem vertical e as chaves seccionadoras tripolares de by pass – 31T1-6 e 31L1-6 – são de montagem horizontal e serão instaladas em duas vigas do tipo Maciça de

120x170x3480 mm de montagem vertical, por bay.

No caso das chaves de montagem vertical, as suas vigas serão suportadas por dois anéis triplos, por viga, tipo B-6 com abertura interna de 290x370 mm, cada viga. Para as chaves de montagem horizontal as suas vigas serão suportadas por dois suportes Jabaquara duplo tipo LT de 730 mm.

No segundo módulo, a estrutura de suporte das chaves seccionadoras unipolares, 21L2-4 e 21L2-5, e da chave seccionadora tripolar de by pass, 21L1-6, relacionadas ao religador 21L2 será idêntica à do religador 21L1. O TSA e os TPs de 15 kV serão instalado em um poste tipo B de 6 m de comprimento e engastamento de 2,3 m.

O barramento de 15 kV será composto por cabo Cu nu de 240 mm² e será sustentado nas suas duas extremidades por duas cadeias de ancoragem com alças preformadas para cabo de 240 mm^2.

7.11 O Desenvolvimento do Projeto

O desenvolvimento do projeto proporcionou aos estudantes do curso de Engenharia Elétrica uma compreensão mais aprofundada dos conceitos de geração, transmissão e distribuição de energia.

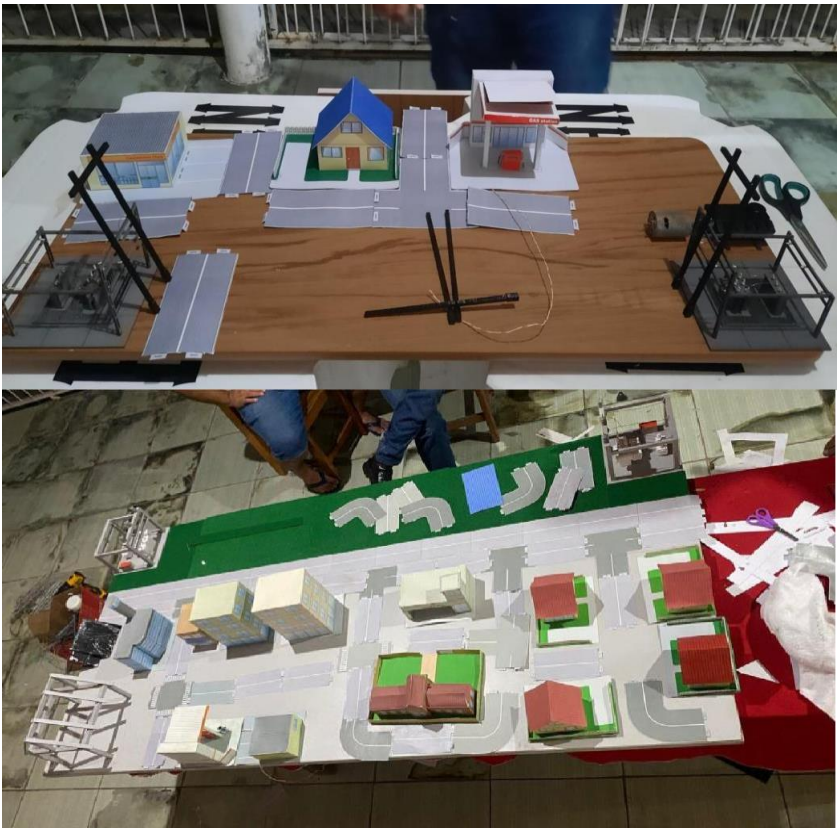


Figura 18 – Maquete Conceitual do projeto
Fonte: O Autor

O projeto permitiu a criação de uma maquete que exemplificou os conceitos de forma prática e visual, enriquecendo a experiência de aprendizado na prática.

Os alunos se uniram para conceber e executar uma maquete representativa e funcional de um sistema elétrico idealizado para uma pequena cidade com X habitantes.




Figura 19 – Organização da Maquete representativa
Fonte: O Autor

A base da maquete foi construída com aglomerado, enquanto as casas, postos de gasolina, comércios e ruas foram feitos com materiais de papel triplex. O gramado foi simulado com EVA.

Os transformadores, geradores e postes de 13.8 kV e 69 kV, bem como os postes de iluminação, foram produzidos usando impressoras 3D e plástico ABS (acrilonitrila butadieno estireno).

As subestações foram fabricadas em MDF, e os para-raios foram criados com resistores de 1k. As conexões de energia de alta e baixa tensão foram estabelecidas com cabos de internet, que conectaram a iluminação pública e as residências, sendo devidamente marcadas com uma etiquetadora.



Figura 20- Recorte da Maquete com as bases da subestação.
Fonte: O Autor

Duas usinas de geração de energia foram construídas na maquete. Uma delas é termoelétrica, com motores impressos em 3D. A outra é uma usina fotovoltaica.

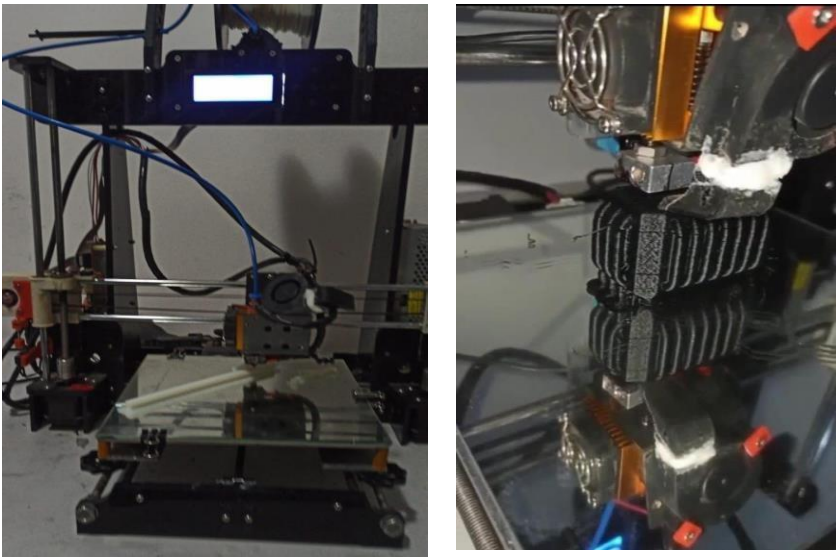


Figura 21 – Material suporte de construção
Fonte: O Autor

A distribuição de energia na maquete foi realizada da seguinte forma: um gerador síncrono com três saídas de cabo de alta tensão subterrânea alimenta um cubículo (transformador) de 13.8 kV, que transforma a tensão para 69 kV. Isso é transmitido por meio de cabos de alta tensão em postes de concreto duplo para outra subestação rebaixadora, onde ocorre o inverso do processo anterior.

A partir dessa subestação rebaixadora, três cabos de alta tensão subterrânea transportam a energia até um poste da rede primária de 13.8 kV, que é posteriormente

transmitida para transformadores rebaixadores de 220/127V, respectivamente, para atender as residências. Esse projeto prático contribuiu significativamente para a compreensão dos alunos sobre os componentes e o funcionamento de um sistema elétrico em escala reduzida.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os fundamentos da geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, é evidente que esses pilares formam a espinha dorsal de uma sociedade eletrificada e em constante evolução.

Ao explorar os intricados processos desdea geração nas usinas até a entrega eficiente aos consumidores, compreendemos a complexidadee a importância desse sistema interconectado.

A engrenagem harmoniosa entre a geração, transmissão e distribuição não apenas ilumina nossas vidas, mas também impulsiona a inovação, promove o desenvolvimento econômico e viabiliza a transição para fontes de energia mais sustentáveis.

Enfrenta-se desafios notáveis, desde a modernização da infraestrutura até a integração de energias renováveis e a promoção da eficiência energética.

À medida que se avança, é imperativo considerar não apenas os aspectos técnicos, mas também os impactos sociais, econômicos e ambientais desse ecossistema elétrico.

O futuro da energia elétrica não apenas reside na otimização de sistemas, mas na construção de soluções integradas que garantam um fornecimento confiável, acessível e sustentável para as gerações futuras.

Com base nos fundamentos da geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, algumas recomendações destacam-se para orientar o desenvolvimento e aprimoramento contínuo desse setorvital:

Investimento em Fontes Renováveis: priorizar e incentivar investimentos em fontes de energia renovável,

como solar, eólica e hidrelétrica, promovendo uma transição mais sustentável.

Modernização da Infraestrutura: comprometer-se com a modernização contínua da infraestrutura, adotando tecnologias avançadas para melhorar a eficiência operacional e a resiliência do sistema elétrico.

Desenvolvimento de Redes Inteligentes: explorar e implementar redes elétricas inteligentes para permitir monitoramento em tempo real, automação e resposta proativa a eventos adversos, contribuindo para uma distribuição mais eficiente.

Incentivo à Eficiência Energética: estabelecer políticas e programas que incentivem a eficiência energética, tanto nas instalações industriais quanto nas residenciais, visando reduzir perdas durante a transmissão e distribuição.

Integração de Microrredes: considerar a integração de microrredes para aumentar a resiliência do sistema e permitir comunidades isoladas ou críticas a operar deforma mais independente em casos de falhas na rede principal.

Promoção da Educação e Conscientização: investir em programas educacionais para aumentar a conscientização sobre o consumo responsável de energia e incentivar práticas sustentáveis na sociedade.

Resiliência a Desastres Naturais: implementar medidas de resiliência e planos de contingência para lidar eficazmente com desastres naturais e eventos climáticos extremos que possam afetar a infraestrutura elétrica.

Fomento à Pesquisa e Inovação: apoiar a pesquisa e inovação para desenvolver novas tecnologias e soluções que possam aprimorar a confiabilidade, a segurança e a eficiência do sistema elétrico.

Participação Ativa da Comunidade: envolver

ativamente as comunidades no planejamento e implementação de projetos, garantindo que suas necessidades e preocupações sejam consideradas.

Aprimoramento da Governança e Regulação: aperfeiçoar os mecanismos de governança e regulação para garantir um equilíbrio adequado entre a inovação, a segurança, a acessibilidade e a sustentabilidade.

REFERÊNCIAS

ANEE - Agência Nacional de Energia Elétrica. Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional –PRODIST [on-line]. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=82>. (acessado em 04/10/2022).

ANEE-Agência Nacional de Energia Elétrica. Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST. Módulo 1 – Introdução [on-line]. Disponível em: < http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/M%C3%B3dulo1_ Revisao_2.pdf >. (acessado em 04/10/2022).

FILHO, J. M. **Manual de Equipamentos Elétrico**s. 3a Ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos, 2005, 778 p.

LEÃO, R. P. S. Capítulo 4 – **Distribuição de Energia** [on-line]. Disponível em: <http://www.dee.ufc.br/~rleao/GTD/Apostila_GTD.htm>. (acessado em 03/10/2022).

Motores de combustão interna e disciplinas.usp.br,ttps://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/ 5753275/mod_resource

https://rd9centralelectrica.webnode.pt/desenvolvimento/centrais- termoelectricas/como-funciona-umacentral-termoelectrica-/; http://www2.aneel.gov.br/.

NETO, M. R. B.; DE CARVALHO, P. C. M. **Geração de energia elétrica: fundamentos**. Saraiva Educação SA, 2012.

NOS - Operador Nacional do Sistema Elétrico. Boletim de Carga Anual: Avaliação da Evoluçãoda Carga x PIB–Ano de 2008 [on-line]. Disponívelem: <http://www.ons.org.br/download/sala_imprensa/Boletim_Carga_2008-PIB.pdf>. (acessado em 03/10/2022).

RAO, S. Electrical **Substation: engineering & practice**. 3a Ed. New Delhi: Khanna Publishers, 2009, 568 p.

Sinopse da Obra:

Energia Elétrica em Destaque: Fundamentos da Geração, Transmissão e Distribuição

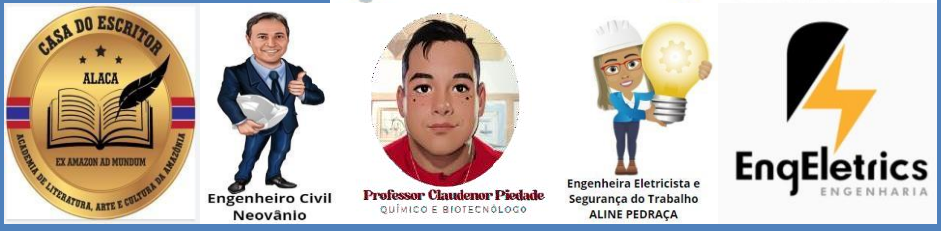
Energia Elétrica em Destaque: Fundamentos da Geração, Transmissão e Distribuição é uma obra abrangente que mergulha nas complexidades e nuances do sistema elétrico, desde a criação da eletricidade nas usinas geradoras até sua entrega aos consumidores finais. A sinopse da obra destaca a importância vital desses fundamentos, essenciais para o funcionamento de uma sociedade moderna.

Através de uma exploração detalhada, a obra aborda os processos de geração, transmissão e distribuição, destacando as tecnologias, desafios e oportunidades inerentes a cada fase. O leitor é guiado por uma jornada que revela não apenas os aspectos técnicos, mas também os impactos sociais, econômicos e ambientais do sistema elétrico.

Ao longo da obra, são apresentadas considerações práticas, reflexões sobre inovações tecnológicas, e recomendações para orientar o setor em direção a um futuro mais sustentável e eficiente. As considerações finais e recomendações consolidam as principais lições aprendidas, oferecendo uma visão holística e proativa para o aprimoramento contínuo do setor elétrico.

"Energia Elétrica em Destaque" é uma leitura essencial para estudantes, profissionais da área elétrica e todos interessados em compreender a espinha dorsal que impulsiona o desenvolvimento e o funcionamento de nossa sociedade eletrificada.

Apoiadores



Energia Elétrica em Destaque: Fundamentos da Geração, Transmissão e Distribuição

é uma obra imperdível por diversas razões:

Compreensão Abrangente: A obra proporciona uma compreensão abrangente dos fundamentos por trás da geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, abordando tanto os aspectos técnicos quanto os impactos sociais, econômicos e ambientais. Atualização Tecnológica: Dada a rápida evolução no setor elétrico, a obra mantém o leitor atualizado sobre as mais recentes tecnologias, inovações e práticas que moldam esse campo dinâmico. Aplicação Prática: Ao apresentar recomendações práticas, aobra oferece insights valiosos para profissionais da área, estudantes e todos aqueles interessados em aplicar os conhecimentos no contexto real do setor elétrico. Visão Holística: A obra não apenas mergulha nos detalhes técnicos, mas também fornece uma visão holística, considerando o papel crucial da energia elétrica no desenvolvimento socioeconômico e na busca por soluções sustentáveis. Relevância Global: Os temas abordados têm relevância global, permitindo que leitores de diferentes regiões e contextos compreendam os desafios universais e as soluções aplicáveis ao cenário local. Reflexão sobre o Futuro: Ao discutir considerações finais e recomendações, a obra estimula a reflexão sobre o futuro do setor elétrico, incentivando práticas mais eficientes, sustentáveis e inovadoras. Guia para Profissionais e Estudantes: Tanto profissionais experientes quanto estudantes iniciantes encontrarão na obra um guia abrangente e esclarecedor, contribuindo para o desenvolvimento de conhecimentos teóricos e práticos. Interesse Público: Para o público em geral, a obra oferece uma oportunidade única de compreender o funcionamento por trás do interruptor de luz, conectando a eletricidade que permeia nosso cotidiano a conceitos complexos de geração e distribuição.

Ler "Energia Elétrica em Destaque" é não apenas adquirir conhecimento técnico, mas também adentrar em uma narrativa envolvente que destaca a importância vital da energia elétrica em nossas vidas e na construção de um futuro mais sustentável.

