

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA ELÉTRICA MECÂNICA E COMPUTAÇÃO

REGES RODRIGUES VIEIRA DE AMOR

**PROJETO ELETROMECÂNICO DE LINHAS AÉREAS DE
TRANSMISSÃO: ETAPAS E DESAFIOS**

Goiânia
2020

**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR
VERSÕES ELETRÔNICAS DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DA UFG**

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio do Repositório Institucional (RI/UFG), regulamentado pela Resolução CEPEC nº 1204/2014, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo dos Trabalhos de Conclusão dos Cursos de Graduação disponibilizado no RI/UFG é de responsabilidade exclusiva dos autores. Ao encaminhar(em) o produto final, o(s) autor(a)(es)(as) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação (TCCG):


Nome(s) completo(s) do(a)(s) autor(a)(es)(as): Reges Rodrigues Vieira de Amor

Título do trabalho: Projeto Eletromecânico de Linhas Aéreas de Transmissão: Etapas e Desafios.

2. Informações de acesso ao documento:

Concorda com a liberação total do documento SIM NÃO¹

Independente da concordância com a disponibilização eletrônica, é imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF do TCCG.


Assinatura(a) do(a)(s) autor(a)(es)(as)²

Ciente e de acordo:


Assinatura do(a) orientador(a)²

Data: 27 / 08 / 2020

¹ Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante: (a) consulta ao(à)s autor(a)(es)(as) e ao(à) orientador(a); b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo do TCCG. O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;

² As assinaturas devem ser originais sendo assinadas no próprio documento, imagens coladas não serão aceitas.

REGES RODRIGUES VIEIRA DE AMOR

PROJETO ELETROMECÂNICO DE LINHAS AÉREAS DE TRANSMISSÃO: ETAPAS E DESAFIOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à disciplina TCC, do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Goiás, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Universidade Federal de Goiás – UFG
Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de Computação
Trabalho de Conclusão de Curso

Orientador: Prof^a. Dr^a. Ana Cláudia Marques do Valle.

Goiânia
2020

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Rodrigues Vieira de Amor, Reges
Projeto Eletromecânico de Linhas Aéreas de Transmissão
[manuscrito] : Etapas e Desafios / Reges Rodrigues Vieira de Amor. -
2020.
LXXXII, 82 f.: il.

Orientador: Profa. Dra. Ana Cláudia Marques do Valle.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade
Federal de Goiás, Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de
Computação (EMC), Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Elétrica e de Computação, Goiânia, 2020.

Bibliografia. Anexos.

Inclui siglas, lista de figuras, lista de tabelas.

1. Energia elétrica. 2. Linhas de transmissão. 3. Projeto
eletromecânico. 4. Transmissão de energia. I. Cláudia Marques do
Valle, Ana , orient. II. Título.

CDU 621.3

REGES RODRIGUES VIEIRA DE AMOR

PROJETO ELETROMECAÂNICO DE LINHAS AÉREAS DE TRANSMISSÃO: ETAPAS E DESAFIOS

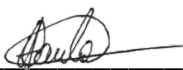
Projeto Final de Curso apresentado à
Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e
Computação da Universidade Federal de
Goiás, como requisito para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Goiânia, 27 de Agosto de 2020.

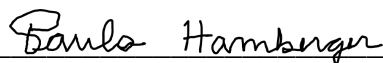
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr^a. (Ana Cláudia Marques do Valle)
Orientador



Prof. Dr. Geyverson Teixeira de Paula
Coord. de Estágio e Projeto Final
do Curso de Engenharia
Elétrica EMC/JUFG Prof. Dr. (Geyverson Teixeira de Paula)
Membro



Prof. Dr. (Paula Andrea do Valle Hamberger)
Membro



Eng^o. (Thalles Augusto Machado dos Santos)
Membro

Dedico este trabalho a Deus e a minha família, que são a base de quem sou hoje e o combustível para alcançar o futuro.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus em primeiro lugar que sempre me deu forças e esperança para continuar mesmo em tempos difíceis.

Agradeço aos meus pais, Diarlei e Arlete, que me inspiraram e me motivaram a sempre fazer meu melhor em tudo, com humildade e desejo de crescer, e nunca abandonar os propósitos de Deus para minha vida. Não posso deixar de mencionar o quão importante a motivação espiritual que eles me proporcionaram. Eles são meus espelhos de fé em minha caminhada.

Agradeço aos meus amigos e colegas, tanto os do ambiente acadêmico, que em momentos de desânimo me impulsionaram a seguir em frente, quanto aos de fora do ambiente acadêmico, que acreditaram no meu potencial desde o início.

Agradeço aos meus amigos de trabalho por diariamente me inspirarem na carreira. Agradeço a Connect Sistemas de Energia por acreditar sempre na minha capacidade intelectual e como pessoa durante o período em que estive lá.

E por fim, quero agradecer a todos os professores que acreditam em cada aluno desta instituição. Dentre eles, minha orientadora, a prof.^a Dr^a. Ana Cláudia Marques do Valle, que muito colaborou para a construção desse trabalho.

"O valor de uma formação universitária não reside no aprendizado de muitos fatos, mas no treinamento da mente para conceber coisas novas" - Albert Einstein.

RESUMO

Tratando-se de energia elétrica, o Brasil é constituído por empresas que atuam na geração, transmissão e distribuição de energia. Geralmente as fontes geradoras estão distantes dos centros consumidores, onde haverá a distribuição da energia. Sendo assim, são necessárias linhas para fazer a transmissão da energia com qualidade, confiabilidade e da forma mais econômica possível.

Esse trabalho visa, de forma clara e bem definida detalhar as etapas mais importantes e explicitar alguns dos desafios que o engenheiro projetista irá encontrar durante o processo do projeto eletromecânico de linhas de transmissão desde a fase de projeto básico, isto é, a fase inicial, até a fase de conclusão da obra.

Palavras-chave: Energia elétrica. Linhas de transmissão. Projeto eletromecânico. Transmissão de energia.

ELECTROMECHANICAL PROJECT OF OVERHEAD TRANSMISSION LINES: STEPS AND CHALLENGES

ABSTRACT

In the case of electricity, Brazil consists of companies that operate in the generation, transmission and distribution of energy. Generating sources are generally distant from consumer centers, where energy will be distributed. Therefore, lines are needed to make the transmission of energy with quality, reliability and the most economical way possible.

This work aims, in a clear and well-defined way, as the most important steps and to explain some of the challenges that the design engineer will encounter during the electromechanical design process of transmission lines from the basic design phase, that is, the initial phase, until the phase of completion of the work.

Keywords: Electrical energy. Transmission lines. Electromechanical project. Power transmission.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Organograma Básico das Etapas de Desenvolvimento do projeto de linha de transmissão	15
Figura 3.1: Principais elementos das linhas de transmissão	18
Figura 3.2: Diâmetro nominal de um cabo com 3 camadas	19
Figura 3.3: Exemplos de formação de cabos condutores	21
Figura 3.4: Ângulos de cobertura propostos por Armstrong e Whitehead para proteção efetiva	22
Figura 3.5: Formação comum dos cabos OPGW	23
Figura 3.6: Exemplo de Isolador Polimérico	25
Figura 3.7: Exemplo de Cadeia de Ancoragem	26
Figura 3.8: Exemplo de Cadeia de Suspensão	26
Figura 3.9: Manilha	27
Figura 3.10: Conector Elo-Bola	27
Figura 3.11: Fundação Simples	31
Figura 3.12: Fundações de Ancoragem	31
Figura 4.1: Sistema Interligado Nacional (SIN)	33
Figura 4.2: Leilão de Transmissão nº 002/2019	36
Figura 4.3: PDCA da Fiscalização dos Serviços de Transmissão	44
Figura 5.1: Conductor suspenso em dois suportes de mesma altura	53
Figura 5.2: Faixa de servidão – condutores dispostos horizontalmente	56
Figura 5.3: Faixa de servidão – condutores dispostos verticalmente	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1: Coeficientes de rugosidade do terreno.....	49
Tabela 5.2: Recomendações OMS para exposição ao campo elétrico e campo magnético.....	58

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
2	OBJETIVOS	17
3	PRINCIPAIS ELEMENTOS DAS LINHAS DE TRANSMISSÃO	18
3.1	CABOS CONDUTORES DE ENERGIA E ACESSÓRIOS.....	19
3.2	CABOS PARA-RAIOS	22
3.3	ISOLADORES E FERRAGENS.....	24
3.4	ESTRUTURAS.....	28
3.5	FUNDAÇÕES	30
4	LEILÕES DE TRANSMISSÃO E CONCESSÕES.....	32
4.1	EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE), JUNTAMENTE COM O OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO (ONS), DESENVOLVE O PLANEJAMENTO DE MÉDIO E LONGO PRAZO	35
4.2	MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME) CONSOLIDA AS INDICAÇÕES DO PLANEJAMENTO SETORIAL E EMITE O PLANO DE OUTORGAS DETERMINATIVO.....	37
4.3	ANEEL INICIA A INSTRUÇÃO PARA O LEILÃO DE TRANSMISSÃO	39
4.4	INVESTIDORES E SOCIEDADE PODEM FAZER SUAS CONTRIBUIÇÕES À PROPOSTA DE EDITAL DO LEILÃO COLOCADA EM AUDIÊNCIA PÚBLICA DA ANEEL	41
4.5	INVESTIDORES PODEM VISITAR AS INSTALAÇÕES EM LICITAÇÃO E SE INSCREVEM PARA O CERTAME	42
4.6	ANEEL REALIZA O LEILÃO COM O APOIO DA B3	43
5	PROJETOS DE LINHAS AÉREAS DE TRANSMISSÃO	45
5.1	PROJETO BÁSICO DE LINHAS AÉREAS DE TRANSMISSÃO	46
5.1.1	Normas Técnicas Oficiais	47
5.1.2	Velocidades e Pressões de Vento	48
5.1.3	Estudo Mecânico dos Cabos	52
5.1.4	Faixa de Segurança.....	55
5.1.5	Distâncias de Segurança	60
5.1.6	Definição dos Cabos Condutores e Para-Raios	61
5.1.7	Série de Estruturas	62

5.1.8	Coordenação de Isolamento.....	62
5.1.9	Sistema de Aterramento	63
5.1.10	Ferragens e Isoladores.....	63
5.1.11	Sistema de Amortecimento	64
5.1.12	Critérios de Projetos de Fundação	65
5.1.13	Parâmetros Elétricos	65
5.1.14	Perdas Joule e Desequilíbrio.....	66
5.1.15	Diretriz Seleccionada	67
5.1.16	Memorial Descritivo	67
5.2	PROJETO EXECUTIVO DE LINHAS AÉREAS DE TRANSMISSÃO	68
5.2.1	Planta e Perfil com Locação das Estruturas	69
5.2.2	Lista de Construção.....	69
5.2.3	Lista de Materiais.....	70
5.2.4	Planta do Traçado	70
5.2.5	Projeto de Acessos às Estruturas.....	70
5.2.6	Projeto de Travessias	71
5.3	AS BUILT.....	72
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	73
	REFERÊNCIAS.....	74
	ANEXO A – EXEMPLOS DE ESTRUTURAS	77
	ANEXO B – EXEMPLO DE PERFIL COM LOCAÇÃO DAS ESTRUTURAS NA TELA DO PLS-CADD	80
	ANEXO C – EXEMPLO DE PLANTA DO TRAÇADO DE UMA LT	81
	ANEXO D – PROJETO DE TRAVESSIA SOBRE RODOVIA	82

1 INTRODUÇÃO

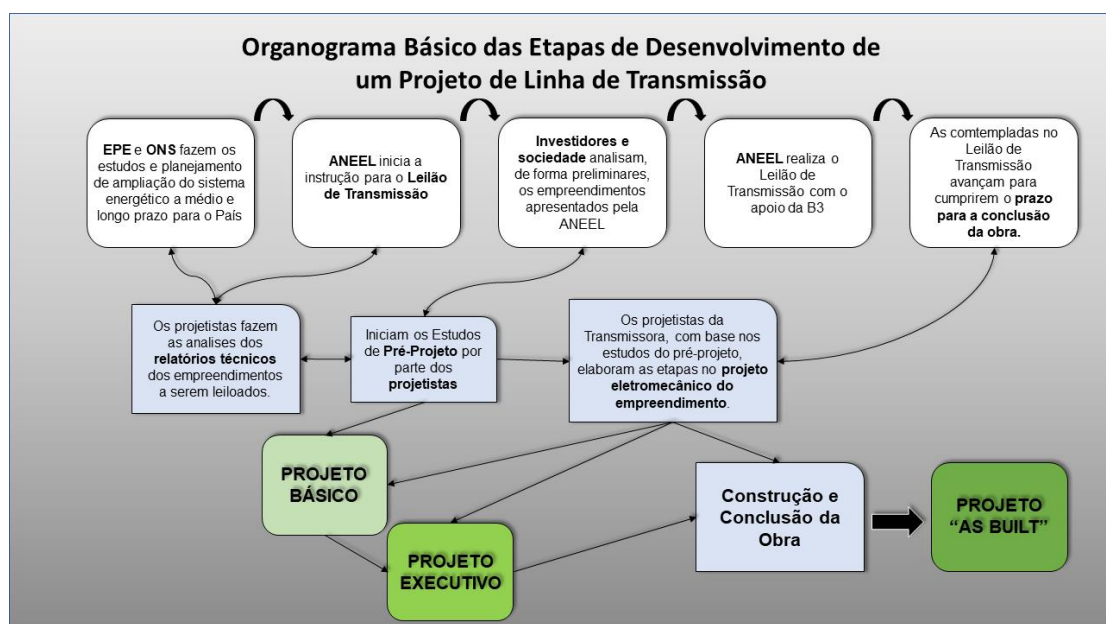
As questões envolvendo energia elétrica são inevitavelmente presentes no mundo moderno, sendo assim, se faz cada vez mais necessário que ela alcance o consumidor com a maior qualidade e eficiência possível.

Diante dessa consideração, apesar de estar presente a muito tempo no nosso dia a dia, os estudos e trabalhos com linhas aéreas de transmissão de energia elétrica são cada vez mais importantes e o trabalho dos engenheiros projetistas de linhas de transmissão é fundamental nesse cenário.

Alguns dos maiores desafios encontrados pelos engenheiros são, diante dos estudos técnicos da etapa de pré-projeto e projeto básico das linhas de transmissão, interpretar os resultados encontrados, o que exige conhecimento técnico e expertise em campo, e mediante isso, otimizar da melhor maneira possível a execução do projeto em campo. Isto é, de maneira geral garantir qualidade, eficiência e economia para o empreendimento.

Na Figura 1.1 tem-se um organograma básico das etapas de um projeto de linhas de transmissão.

Figura 1.1 – Organograma Básico das Etapas de Desenvolvimento de um Projeto de Linha de Transmissão.



Fonte: Autor.

O conhecimento dos elementos básicos de uma linha de transmissão (capítulo 3) é parte do cotidiano e algo fundamental para os engenheiros de linhas de transmissão. Suas aplicações e componentes no projeto auxilia no desempenho, qualidade e economia do projeto.

No capítulo 4 é exposto o processo de licitação e outorga das linhas de transmissão via leilão de transmissão realizado pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). Etapa que é de suma importância para um engenheiro projetista de linhas de transmissão pois, conhecer o empreendimento que irá projetar faz parte da gama de desafios encontrado.

No capítulo 5 é detalhado as etapas de um projeto de linhas aéreas de transmissão, subdivido em projeto básico, projeto executivo e As Built, onde o maior foco está na etapa de projeto básico pois, se houver um bom estudo desenvolvido nessa etapa as etapas subsequentes serão, de maneira geral, mais assertivas.

Todo projeto de linha de transmissão exige estudos comuns – Estudo de interferências rodoviárias, estudo eletromecânico dos cabos, aterramento, tipo de isolador utilizado e etc – porém cada empresa ou projetista tem sua metodologia e maneira de apresentar esses estudos. No capítulo 5 é apresentado uma dentre várias metodologias de apresentação do projeto.

Por fim as considerações finais (capítulo 6) contendo um panorama sobre o exposto no trabalho e projeções futuras com relação àquilo que as transmissões de energia elétrica terão no cenário brasileiro e mundial.

Para esse trabalho em especial, alguns resultados e anexos não puderam ser citados por direitos reservados à clientes, garantindo assim a confiabilidade dos mesmos. Entretanto, todos os levantamentos de etapas e desafios, bem como estudos fazem parte de projetos reais de linhas aéreas de transmissão no cenário brasileiro.

2 OBJETIVO

O objetivo geral do trabalho é trazer o conhecimento ao leitor das etapas de um projeto de linhas aéreas de transmissão e os desafios vividos pelos engenheiros projetistas durante deste processo, expondo os conhecimentos e expertises necessários dos mesmos para a execução desse trabalho.

Dentre essas etapas o maior enfoque do trabalho será na etapa de Projeto Básico do projeto de linhas aéreas de transmissão, onde o conhecimento técnico e a habilidade de interpretar os resultados obtidos a partir dos estudo feitos, terão grande auxílio ao engenheiro projetista nas fases subsequentes, isto é, projeto executivo e “as built”.

Dentro dos estudos de projeto básico contidos no trabalho os de maior destaque serão Estudo de Velocidades e Pressões de Vento, Estudo Mecânico dos Cabos e Faixa de Segurança onde se evidencia a maneira como esses e outros estudos se complementam e como é importante que o engenheiro saiba interpretar os resultados obtidos.

Na fase de projeto executivo é citado vários estudos que o compõe e dado mais enfoque àqueles que, em campo, trazem uma significância maior como por exemplo Planta e perfil com locação de estruturas, Planta de traçado, Projeto de travessia e Projeto de acesso às estruturas.

Sabendo da importância da transmissão de energia elétrica para o Brasil dentro do SIN (Sistema Interligado Nacional), o incentivo aos estudos e avanço de metodologias para aplicação nessa área da engenharia é um ponto de interesse nesse trabalho.

3 PRINCIPAIS ELEMENTOS DA LINHAS DE TRANSMISSÃO

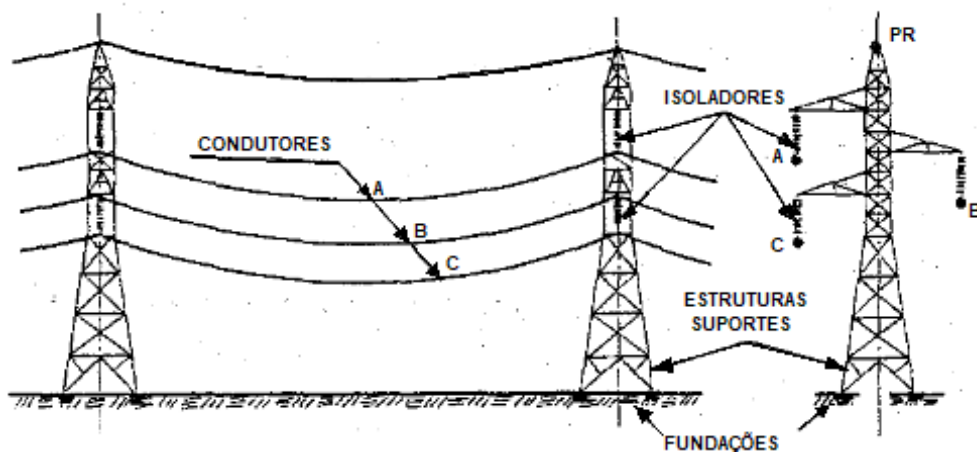
O bom desempenho elétrico das linhas de transmissão (LT) está diretamente relacionado com as características de seus componentes, e de sua geometria escolhida dentro dos projetos eletromecânicos (FUCHS, 1992).

“O transporte de energia elétrica pelas linhas de transmissão tem, dentro de um sistema elétrico, o caráter de “prestação de serviço”. Deverá, pois, ser eficiente, confiável e econômico” (FUCHS, 1992, p. 18).

Isto com certeza faz parte dos grandes projetos de linhas aéreas de transmissão pois, para cada componente existe uma infinidade de fabricantes e diferentes usabilidades dependendo dos fatores de projeto para linhas de transmissão como escolha da tensão de transmissão, tipo e bitola dos cabos condutores, os isoladores e acessórios, número de circuitos trifásicos, a forma das estruturas, ou seja, os materiais que irão compô-las e seus carregamentos de esforços.

Basicamente, uma linha de transmissão se compõe das seguintes partes principais: Cabos condutores de energia e acessórios; Cabos Para-raios; Cadeia isoladores e ferragens; Estruturas (Torres) e Fundações como ilustrado na figura 3.1.

Figura 3.1 – Principais elementos das linhas de transmissão



Fonte: Fuchs, 1992.

3.1 CABOS CONDUTORES DE ENERGIA E ACESSÓRIOS

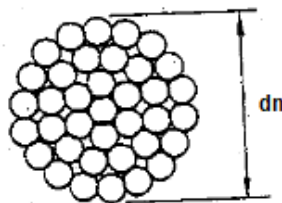
Um dos componentes fundamentais na transmissão de energia é o cabo condutor pois ele funciona como um guia dos agentes de transmissão de energia elétrica, isto é, os campos elétricos e magnéticos.

Analisando os cabos condutores, sua escolha e dimensionamento corretos são decisivos na determinação das perdas de energia (por efeito Joule ou por Corona), como também para controlar os níveis de rádio interferência e ruídos acústicos durante o tempo de concessão (FUCHS, 1992).

Para controlar as perdas ocasionadas pelo efeito Joule deve-se escolher condutores com áreas de seção transversais compatíveis com a corrente de condução juntamente com a escolha de materiais com resistividade correspondente.

Os cabos são identificados e especificados geralmente, em catálogos, por palavra código, CM (circular mil), área de seção transversal, formação, diâmetro nominal, massa linear, resistência elétrica a 20 °C. um exemplo da vista de um condutor está na figura 3.2.

Figura 3.2 – Diâmetro nominal de um cabo com 3 camadas (37 fios)



Fonte: Fuchs, 1992.

A unidade de área adotada para definir a seção transversal dos condutores é o CM – “Circular Mil”, que corresponde à área de um círculo cujo diâmetro é de um milésimo de polegada. Um exemplo dessa unidade é o cabo condutor de alumínio com alma de aço (CAA) “Partridge”, cujo o CM dele é 288,6 kcmil ou kCM.

Outra característica muito importância dos cabos condutores é a sua capacidade térmica, ou seja, ampacidade, o que é muito importante de ser levado em consideração dentro dos projetos de linhas de transmissão e por isso deve ser levado em conta como um fator econômico e técnico dentro da escolha do condutor.

No âmbito econômico tem-se que a definição dos cabos condutores vem a partir de estudos realizados pela EPE (Empresa de Pesquisa Energética) e nesse aspecto se trata de um fator complexo que costuma não fazer parte do escopo de trabalho dos projetistas de linhas de transmissão de energia.

No capítulo 5 é citado como exemplo um estudo chamado “Definição dos cabos condutores e para-raios” referente ao projeto básico onde os projetistas, a partir dos estudos da EPE, analisam os condutores do ponto de vista elétrico, e dependendo do resultado, confirma-se a escolha dos cabos.

Entretanto, diante do âmbito econômico, de maneira rudimentar pode-se dizer que a escolha do condutor seria analisar o custo das perdas pelo valor de parcela anual do valor investido nos condutores. Mas atualmente dentro dessa análise de custo deve-se considerar outros fatores como estruturas, isoladores, ferragens e etc.

Considerando o ponto de vista técnico, tem-se que analisar o comportamento mecânico do cabo sob efeito de altas temperaturas. Para cada cabo existe um valor limite superior da temperatura em operação (regime permanente) antes da degradação de sua resistência mecânica. Mas isso não elimina que em regime de curta duração os condutores suportem maiores temperaturas. Para definir essas temperaturas os projetistas de linhas de transmissão realizam simulações específicas que serão abordadas no capítulo 5 desse trabalho.

Os tipos mais comuns de cabos condutores de energia e sua composição são:

Cobre: Material possui grande condutividade elétrica, mas atualmente não é utilizado em linhas de transmissão de energia devido a razões econômicas e vandalismo.

Alumínio: É o material mais utilizado na construção de condutores para linhas aéreas de transmissão atualmente, seja ele puro, associado com o aço ou como liga com outros materiais.

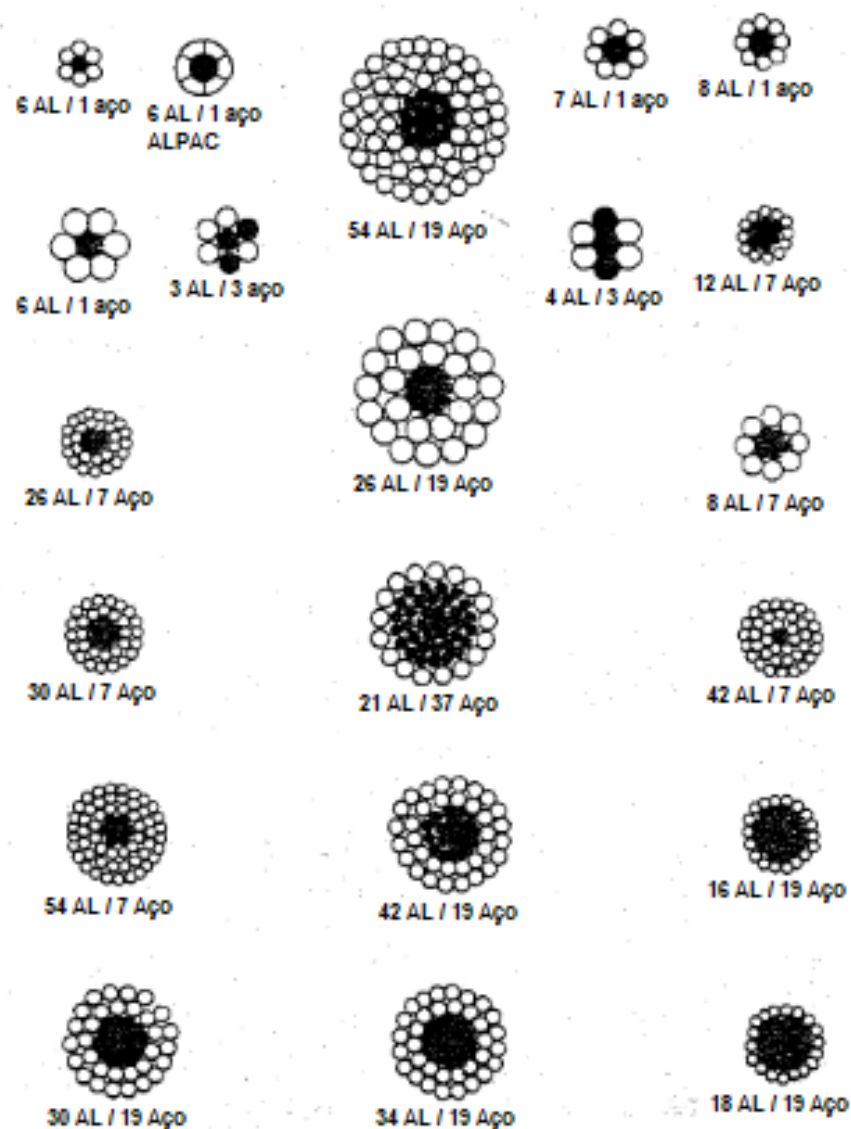
O alumínio, como condutor principalmente nos dias atuais, tem algumas vantagens para a escolha, como a condutividade, que é de aproximadamente 61% do cobre usado para cabos de linhas, porém, devido ao seu baixo peso específico, a condutividade do alumínio é mais do que o dobro daquela do cobre por unidade de peso (FUCHS, 1992).

Outra vantagem é sua resistência mecânica, que apesar de ser mais frágil do que a do cobre, isso pode ser resolvido, o que acontece na maioria das vezes, usando condutores de liga de alumínio ou através de associação alumínio – aço.

Resistência à corrosão. Os cabos condutores em linhas aéreas de transmissão são constantemente expostos a ambiente e suas alterações, como sol, chuva, poluição. Esses fatores exigem que os condutores tenham resistência a esses efeitos.

Alguns exemplos de formação dos cabos condutores estão disponíveis na Figura 3.3.

Figura 3.3 – Exemplos de formação de cabos condutores

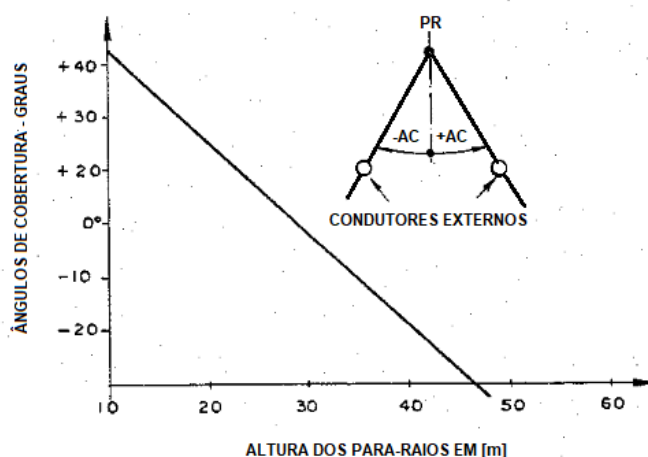


Fonte: Fuchs, 1992.

3.2 CABOS PARA-RAIOS

Os cabos para-raios têm como função básica proteger os condutores das descargas atmosféricas reduzindo interrupções no fornecimento de energia que vem através das linhas de transmissão e para cumprir essa função ele é posicionado na parte superior das linhas aéreas de transmissão formando o ângulo de cobertura. E quanto mais alto a posição dos para-raios menor o AC (ângulo de cobertura). Quanto menor esse ângulo mais eficiente será a proteção. Eles também são conectados ao sistema de aterramento (cabos contrapesos) através da estrutura.

Figura 3.4 – Ângulos de cobertura propostos por Armstrong e Whitehead para proteção efetiva



Fonte: Fuchs, 1992.

Os cabos mais comuns usados para projetos de linhas aéreas de transmissão como para-raios são:

Cordoalha de fios de aço zincada: Fabricados e especificados no Brasil pela NBR 5908. São de dois tipos, diferenciando-se por seu nível de resistência mecânica, alta resistência AR (HS - High Strength) e extra-forte EAR (EHS – Extra High Strength).

A zincagem tem três espessuras diferentes classificadas como tipo A, B e C, onde a do tipo A é mais comum (FUCHS, 1992).

Cabos CAA (Condutor de Alumínio com alma de Aço) Extra-Fortes: Quando o critério para a escolha de cabos com menor atenuação, empregam-se cabos CAA extra-fortes (CAA-EF), que se distinguem por uma menor relação área de alumínio/área de aço (FUCHS, 1992).

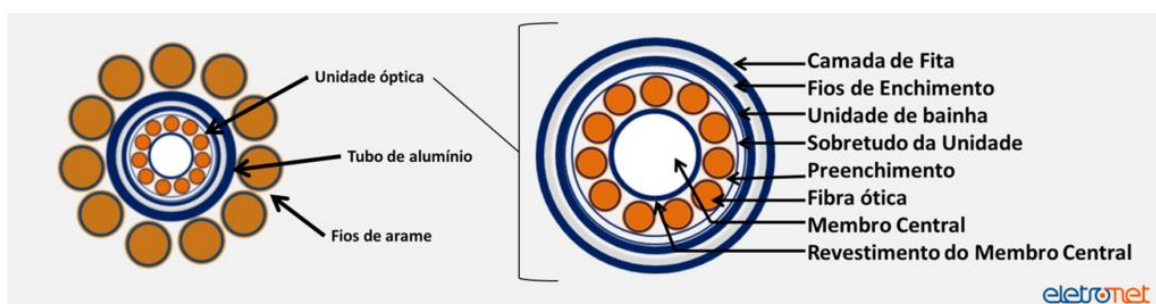
Cabos Aço-Alumínio (Aluminum clad ou alumo-weld): Segundo Fuchs (1992, p. 33) “Confeccionado com fios de aço extra-fortes revestidos de espessa camada de alumínio. Indicados para atmosferas agressivas ao aço galvanizado e também quando se deseja usar os para-raios com onda portadora”.

OPGW – Optical Ground Wire: Atualmente a maioria dos dados de internet e telefonia percorre o mesmo trajeto da energia elétrica, através dos cabos para-raios OPGW.

“A sigla vem do inglês Optical Ground Wire, que significa fio de aterramento óptico e nada mais é que um cabo para-raios com um núcleo de fibra óptica. E é essa característica que torna este cabo tão especial. Além de ser o mais confiável contra vandalismos, o cabo OPGW possui duas funções em um único cabo: a de proteção contra descargas atmosféricas e a de transmissão de dados e voz” (eletronet.com).

No centro deste cabo de aço que estão instaladas as fibras ópticas que são da espessura da ordem de micrometros e, apesar de parecerem tão sensíveis e frágeis, são estes fios transparentes os mais eficientes para transportar dados livres de influências eletromagnéticas, sem qualquer limitação em função da relação sinal e ruído (eletronet.com) – Figura 3.5.

Figura 3.5 – Formação comum dos cabos OPGW.



Fonte: eletronet.com.

3.3 ISOLADORES E FERRAGENS

Os cabos condutores devem ser eletricamente isolados tanto do solo quanto da estrutura que os suporta, isso é feito de forma natural pelo ar que os envolve e em além disso foram desenvolvidas estruturas isolantes e ferragens que suportam as solicitações advindas pelo peso dos cabos e acessórios e força dos ventos. Essas estruturas isolantes são chamadas de isoladores.

Nas linhas aéreas de transmissão existem isoladores feitos a partir de vidro temperado, porcelana vitrificada e material sintético composto. Cada material tem suas vantagens e desvantagens com relação a seu uso e custo.

Isoladores de vidro temperado são muito utilizados em linhas de EAT (Extra Alta Tensão). Eles são fabricados sobre bastante pressão interna que o leva a estilhaçar quando submetido a pressões mecânicas, muitas vezes devido a ação dos ventos forte e tração dos cabos, e quando sujeito a vandalismo. Sua vantagem é o baixo custo de produção e ao fazer uma inspeção visual, consegue-se definir se há isoladores faltantes. Sua principal desvantagem é o vandalismo.

Isoladores de Porcelana Vitrificada são fabricados com uma tecnologia bastante avançada constituindo um corpo uniforme, isento de impurezas em seu interior garantido sua natureza dielétrica. Para que a superfície do isolador seja impermeável é colocada uma camada de vidro.

Seu desempenho elétrico é de boa qualidade, entretanto suas principais desvantagens são o custo bastante elevado em comparação com o isolador de vidro temperado e a difícil identificação de falhas. Quando falham, por terem a camada de vidro, diferente dos isoladores de vidro que estilhaçam, eles apenas trincam o que numa inspeção visual dificulta a identificação de quais isoladores estão com defeito. Essas desvantagens, diante dos outros tipos de isoladores, o tornaram quase inutilizados nos atuais projetos eletromecânicos de linhas de transmissão.

Atualmente, já se tornou comum o uso de isoladores poliméricos (figura 3.6), feitos de materiais sintéticos compostos, geralmente fabricados em forma de pilar ou bastão com fibras de vidro e são capazes de suportar grandes esforços. São mais leves, o que facilita seu transporte e instalação além de serem menos afetados pelo vandalismo. Sua desvantagem ainda continua sendo o custo de produção.

Figura 3.6 – Exemplo de Isolador Polimérico.



Fonte: Connect Sistemas de Energia.

Por mais resistentes eletricamente que os isoladores possam ser, sua fragilidade mecânica pode danificá-los e até mesmo, perder a isolação para qual eles foram projetados, por isso, o transporte, armazenamento e a instalação corretas são fundamentais.

Para a fixação dos isoladores nas estruturas e os cabos nos isoladores, e demais acessórios um projetista de linhas de transmissão deve considerar cada ferragem a ser utilizada no projeto e para cada tipo de estrutura.

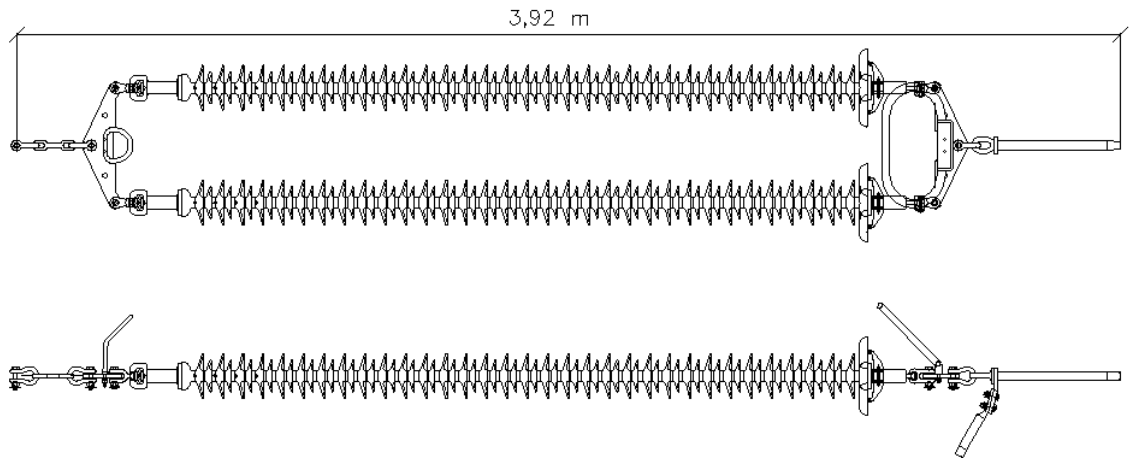
O conjunto de isoladores e ferragens em uma linha de transmissão é chamado de cadeia. E pode ser definida como cadeia de ancoragem, cadeia de suspensão ou cadeia de passagem (Jumper).

Cadeia de Ancoragem, como o nome sugere, é o conjunto de ferragens e isolador responsável por ancorar os cabos a estrutura. Para cabos condutores existem cadeias de ancoragens de diferentes construções a depender da configuração da LT.

Junto com as cadeias de ancoragem para cabos condutores existem, as cadeias de passagem (Jumper). São responsáveis por duas funções básicas sendo elas: continuar o fluxo de corrente dos cabos condutores ancorados e afastar os condutores energizados das estruturas.

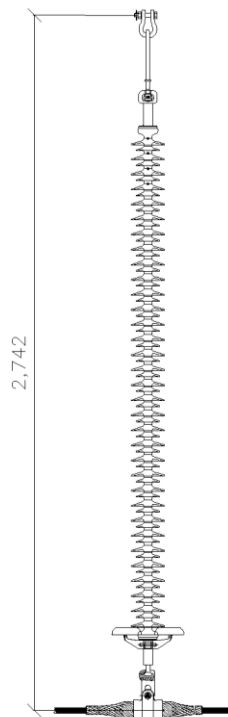
Cadeias de suspensão são aplicados às estruturas com ângulo de deflexão muito baixo (0° a 5°) e têm a função de suspensão dos cabos. Exemplos de cada cadeia está representado nas figuras 3.7 e 3.8.

Figura 3.7 – Exemplo de Cadeia de Ancoragem.



Fonte: Connect Sistemas de Energia.

Figura 3.8 – Exemplo de Cadeia de Suspensão.



Fonte: Connect Sistemas de Energia.

Como componente fundamental em uma cadeia e em linhas de transmissão de maneira geral, estão as ferragens.

Sobre elas são incidentes as cargas devido ao peso dos cabos e pressão de vento e são responsáveis pela conexão e/ou fixação dos componentes da linha de transmissão. Diante disto, cada ferragem conta com uma carga de ruptura (limite de

carga suportável) e uma função específica, isto é, umas são para fixação das cadeias às estruturas, outras são para espaçar os feixes dos cabos nos vãos, outros são para prenderem os estais às fundações e etc. Cada uma com seu formato mais adequado àquela necessidade. Alguns tipos de ferragens estão definidos nas figuras 3.9 e 3.10:

Figura 3.9 – Manilha.



Fonte: Catálogo Forjasul, 2017.

Figura 3.10 – Conector Elo-Bola.



Fonte: Catálogo Forjasul, 2017.

3.4 ESTRUTURAS

Considerando projetos de linhas de transmissão, um dos elementos mais icônicos sem dúvidas são as estruturas, ou como conhecidas, torres. São feitas em metal, concreto ou madeira (raramente usada em LTs atualmente).

As estruturas de linhas de transmissão desempenham um papel fundamental dentro dos projetos. Elas são responsáveis por manterem os cabos energizados afastados entre si, do solo, e também suportar todas as solicitações mecânicas advindas dos cabos, e cadeias.

Os tipos de estruturas mais comuns são:

- Torres de Suspensão: são estruturas que possuem o papel de alinhamento. São, em condições normais de operação, suportar os esforços verticais dos cabos, e cadeia de suspensão. Geralmente estão alocadas em trechos sem deflexão da LT (Linha de Transmissão) e são as mais comuns dentre a série de estruturas.

- Torres de Ancoragem: são estruturas que suportam maiores esforços e são responsáveis por ancorar os cabos devido a uma deflexão no trecho da LT (até 60°). São mais reforçadas estruturalmente do que a de suspensão. Elas suportam esforços longitudinais das trações dos cabos e verticais do peso dos mesmos e até o rompimento deles.

- Torres de Ancoragem Terminal ou Fim de Linha: são empregadas geralmente no início e no fim das linhas de transmissão podendo haver no meio de linha. São responsáveis por manterem os cabos firmes quando há uma necessidade de diferença de tração entre os vãos adjacentes da estrutura. São mais reforçadas que as torres simplesmente de ancoragem.

- Torres de Transposição de Fases: para manter a mesma queda de tensão do início para o fim da linha das três fases e garantir o equilíbrio eletromagnético da linha efetua-se a transposição de fases e para isso utiliza-se estruturas especiais. Recomenda-se que em um trecho de linha de transmissão faça pelo menos uma transposição completa de fases (FUCHS, 1992)

- Torres de derivação: São torres robustas e especialmente fabricadas para quando há um seccionamento em uma linha de transmissão.

As estruturas autoportantes podem ser tanto de ancoragem quanto de suspensão e são aquelas que a sustentabilidade dos esforços se dão apenas pela

própria formação estrutural da torre através de suas fundações. Já estruturas de suspensão estaiadas, são aquelas cuja a fundação é pequena e os esforços são transmitidos por tiras de estais, o que assumem a responsabilidade de manter a torre de pé. Estruturas estaiadas são muito mais econômicas do que as autoportantes. Exemplos de estrutura estão disponíveis no Anexo A.

3.5 FUNDAÇÕES

Toda obra de engenharia que é assentada na superfície necessita de um componente responsável por transferir os esforços realizados na estrutura e o próprio peso da mesma. Essa estrutura de transição de esforços nada mais é que a fundação da obra.

Para se definir quais tipos de fundações que serão utilizados na obra e seu dimensionamento, deve-se anteceder duas etapas: Estudo das características geotécnicas e o cálculo de todos os esforços a serem transmitidos da estrutura para a fundação.

Quando se trata de uma linha de transmissão o estudo das fundações é algo de certa forma complexo pois o estudo do solo para cada estrutura pode ser variado, pois no trecho da linha, pode haver mudanças de solo e ocasionar diferentes tipos de fundações. De acordo com Fuchs (1992, p. 444)

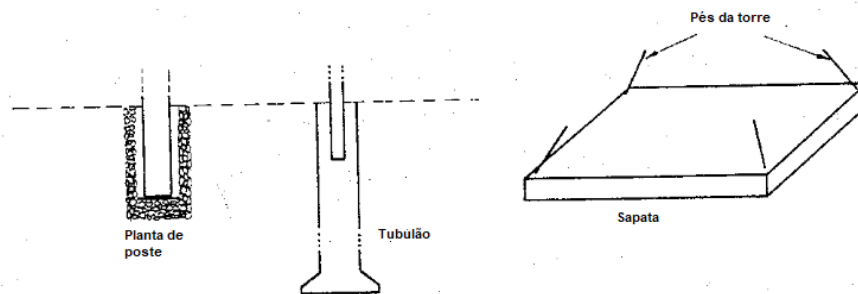
Todos os esforços provenientes da montagem, sustentação dos condutores e equipamentos eletromecânicos, esforços devidos à atuação de fenômenos naturais sobre todas as partes da obra, bem como o peso próprio integral, geram tensões que devem ser absorvidas pelo terreno através das fundações.

O projetista de fundações deve garantir o bom desempenho da fundação mediante os esforços a serem transmitidos. Para isso, ele deve ter, um conhecimento suficiente em geologia, saber interpretar os dados de sondagens por exemplo. Para os casos de solos mais complexos, é aconselhado fazer consultas a um engenheiro geólogo, pois quando se trata de fundação, além de toda parte econômica, se trata também de segurança.

Difícilmente em um projeto de LT é definido um único tipo de fundação. Existem diversos tipos de fundações e várias alternativas, tanto como solução prática como solução econômica. Alguns exemplos de fundações são: Fundações simples; Fundações fracionadas; Fundações para estaiamento e Fundações especiais.

- Fundações Simples: São fundações constituídas por postes (concreto, madeira ou metálicos) únicos ou duplos, ou por torres treliçadas de pequenas dimensões de base – Figura 3.8. Muito usadas em torres de concreto;

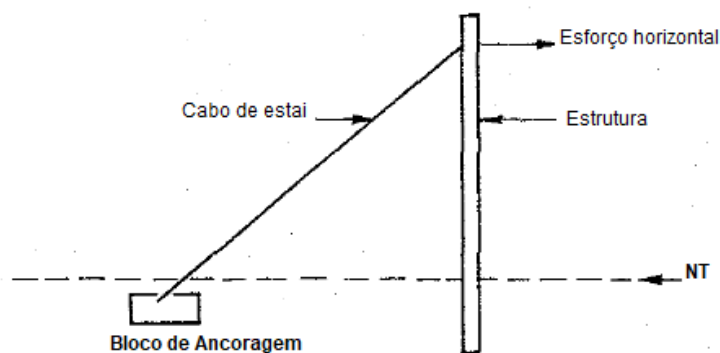
Figura 3.8 – Fundações simples.



Fonte: Fuchs, 1992.

- Fundações Fracionadas: São comumente usadas em estruturas autoportantes pois fica economicamente mais eficaz fracionar a fundação para cada perna da estrutura diante de terrenos planos ou até mesmo diferentes.
- Fundações para Estaiamento: São fundações destinadas a ancorar os cabos de estai de estruturas não autoportantes, ou absorver esforços laterais de estruturas semi-rígidas em ângulos de uma LT – Figura 3.9.

Figura 3.9 – Fundações de Ancoragem.



Fonte: Fuchs, 1992.

- Fundações de Especiais: São fundações que fogem ao padrão de construção e locação no trecho de uma LT. Elas assim são chamadas devido a importância da estrutura, à sua locação (travessia, fim de linha, ângulos, etc), outras são assim classificadas pela complexidade geológica do terreno e execução.

4 LEILÕES DE TRANSMISSÃO E CONCESSÕES

O Brasil está em constante desenvolvimento quando se trata do setor energético. Devido a essa crescente demanda do mercado, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) juntamente com o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), realizam estudos e pesquisas a fim de expandir o sistema.

A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) é uma prestadora de serviço público para o Ministério de Minas e Energia (MME) criada em 2004 com a responsabilidade de gerir o planejamento do setor energético cobrindo energia elétrica, petróleo e gás natural e seus derivados e biocombustíveis; A empresa atua no planejamento do desenvolvimento do setor energético nacional conduzindo estudos de demanda e pesquisas para a ampliação do setor energéticos. (epe.gov.br)

“O Operador Nacional do Sistema Nacional (ONS) é o órgão responsável pela coordenação e controle da operação das instalações de geração e transmissão de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN) e pelo planejamento da operação dos sistemas isolados do país, sob fiscalização e regulação da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL)” (ons.gov.br).

O sistema energético nacional é um sistema hidro-termo-eólico de grande porte dentro da produção e transmissão de energia elétrica, com predominância de usinas hidrelétricas e com múltiplos proprietários (ons.org.br). Todo esse sistema é conhecido como Sistema Interligado Nacional (SIN) como exemplificado na Figura 4.1.

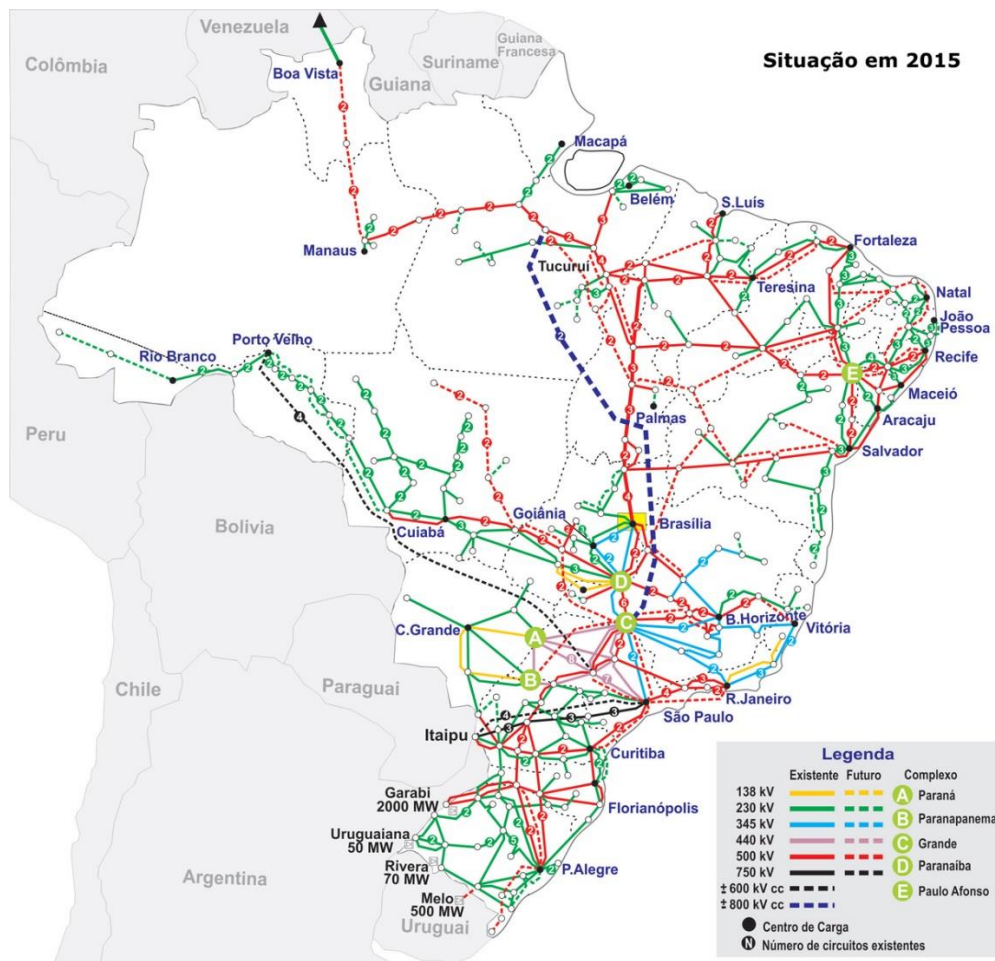
“O serviço público de transmissão de energia elétrica do Sistema Interligado Nacional (SIN) compreende as instalações da Rede Básica (RB) e da Rede Básica de Fronteira (RBF). Conforme a Resolução Normativa nº 67, de 8 de julho de 2004, a RB é composta pelas instalações do SIN com nível de tensão igual ou superior a 230 kV, enquanto a RBF está composta pelas unidades transformadoras de potência do SIN com tensão superior igual ou maior de que 230 kV e tensão inferior menor de que 230 kV”(aneel.gov.br).

Todo esse sistema é interligado por meio da malha de transmissão, o garante qualidade e economia no atendimento do mercado consumidor. Essa malha permite o ganho sinérgicos e explora a diversidade entre os regimes hidrológicos das bacias. Essas malhas garantem a integração dos diferentes recursos de geração e permite o atendimento e o suprimento do mercado com segurança e economicidade (ons.org.br).

E diante disso, com relação ao sistema de transmissão nacional, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), órgão regulador do setor elétrico no país, realiza Leilões de Transmissão sob delegação do Ministério de Minas e Energia (MME) a fim de outorgar concessões para linhas de transmissão e subestações no Brasil. Essas outorgas de concessão, permissões e autorizações podem ser feitas a outros agentes públicos bem como para empresas privadas.

Após a assinatura dos contratos, a ANEEL inicia um processo de gestão contratual o que inclui: análise e aprovação da conformidade dos projetos básicos feitos pelos projetistas, análise para enquadramento ao Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura (REIDI) e Declarações de Utilidade Pública (DUP) (ANEEL, 2020).

Figura 4.1 – Sistema Interligado Nacional (SIN).



Fonte: <https://www.aneel.gov.br/transmissao5>.

O propósito desse capítulo é expor os passos desde os estudos para a implantação de uma linha de transmissão até a consumação do leilão de transmissão e os procedimentos pós leilão.

4.1 EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE), JUNTAMENTE COM O OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO (ONS), DESENVOLVE O PLANEJAMENTO DE MÉDIO E LONGO PRAZO

Para todos os novos empreendimentos de transmissão que serão integrados à rede básica (RB) são recomendados estudos de planejamento que são coordenados pela EPE, que tem um papel muito importante no processo licitatório.

O Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) também colabora com estudos e no planejamento dentro do plano horizontal de operação com o Plano Ampliações e Reforços (PAR) onde são propostos todas as ampliações e os reforços necessários na RB e nas demais instalações elétricas para garantir a qualidade e a segurança do SIN (ons.org.br). Na Figura 4.2 mostra o estudo da ampliação com a implementação do Leilão de Transmissão nº 002/2019.

Os estudos começam com a emissão do relatório R1, elaborado pela EPE, onde são abordados os empreendimentos ou ampliações para melhor atender a necessidade de demanda no sistema com base em análises técnico-econômicas e socioambientais.

Posteriormente os planejamentos realizados são incorporados ao Programa de Expansão da Transmissão (PET) / Plano de Expansão de Longo Prazo (PELP), que consiste em um documento de gerencia para auxiliar o Ministério de Minas e Energia (MME) na definição dos empreendimentos que serão outorgados no leilão posteriormente.

Para linhas de transmissão além do R1, são necessários mais um conjunto de relatórios complementares cada um com um enfoque específico para o empreendimento, podendo estes serem elaborados por agentes do setor elétrico ou em alguns casos a EPE pode coordenar a elaboração desses documentos ou até mesmo ela mesmo elaborá-los.

Os demais relatórios possuem os seguintes enfoques:

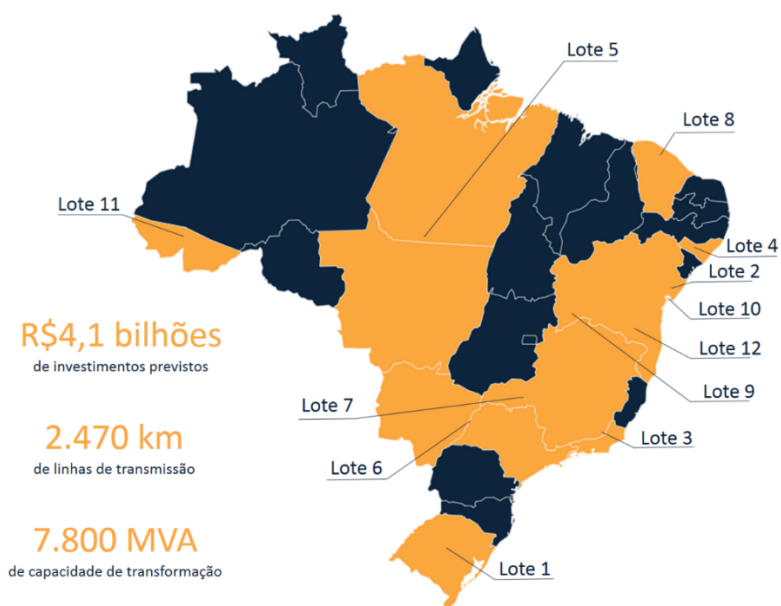
- Relatório R2: apresenta o detalhamento técnico do empreendimento, como por exemplo: definição do melhor condutor economicamente viável com base nos estudos da elaboradora, parâmetros elétricos, silhueta da estrutura típica e etc.

- Relatório R3: apresenta a diretriz de traçado para as linhas de transmissão e localização das subestações envolvidas, assim como apresenta também a análise socioambiental associada;
- Relatório R4: define os requisitos do sistema circunvizinho, de forma a assegurar o adequado compartilhamento entre as instalações existentes e a nova obra. Geralmente esse documento traz detalhes de linha existente e que será seccionada, como por exemplo série de estruturas usada na linha existente, classe de tensão, quais os cabos usados, e etc.
- Relatório R5: apresenta a estimativa dos custos fundiários referentes à região onde a nova instalação será implantada.

Com o objetivo de assegurar a integração setorial, o MME promove a compatibilização entre o PAR e o Plano de Expansão da Transmissão (PET). Esse documento consolidado (PAR/PET) auxilia no processo de outorga das obras de transmissão realizado pela ANEEL. Esse documento é denominado Consolidação das Obras da Rede Básica e também de fronteira (ons.org.br).

Todos os relatórios são disponibilizados ao público em geral para download no sitio oficial da ANEEL e passam por um processo dito interativo, para garantir consistência entre eles, antes de sua consolidação.

Figura 4.2 – Leilão de Transmissão nº 002/2019.



Fonte: <http://www.epe.gov.br/pt/leiloes-de-energia/leiloes-de-transmissao/leilao-de-transmissao-002-2019>.

4.2 MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME) CONSOLIDA AS INDICAÇÕES DO PLANEJAMENTO SETORIAL E EMITE O PLANO DE OUTORGAS DETERMINATIVO

O Ministério de Minas e Energia (MME) foi criado em 1960 e dentre as responsabilidades principais do Ministério estão o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), que é um órgão de assessoria do Presidente da República e trata das formulações de políticas e diretrizes do setor de energia no país e os documentos de resolução deste se encontram disponíveis no sitio oficial do MME, e o Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE) que tem a função de acompanhar e avaliar permanentemente a continuidade e a segurança do suprimento eletroenergético em todo o país.

O MME possui 4 secretarias que possuem finalidades específicas de atuação e propõem diretrizes e implementa políticas para as mesmas. Essas secretarias são: Secretaria de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis; Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral; Secretaria de Energia Elétrica e Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético.

Para o setor de energia elétrica as secretarias de Energia Elétrica e de Planejamento e Desenvolvimento Energético serão as mais importantes no processo de compreensão das etapas para o Leilão de Transmissão.

A Secretaria de Energia Elétrica (SEE) tem como função o zelo pelas políticas de desenvolvimento e consumo de energia elétrica tendo como objetivo que toda a sociedade tenha acesso a energia elétrica de todas as formas disponíveis, com segurança, continuidade, tarifas justas e qualidade da energia fornecida (mme.gov.br).

“A Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético (SPE) estabelece as diretrizes para elaboração de políticas públicas para o setor energético e coordena a elaboração e implementação dos instrumentos do planejamento energético brasileiro, tais como o Plano Decenal de Expansão de Energia, o Plano Nacional de Energia e o Balanço Energético Nacional, além da coordenação de sistemas de informações energéticas” (mme.gov.br). A SPE também avalia e promove as análises para a outorga de concessões, autorizações e permissões necessárias para o desenvolvimento do setor de energia elétrica nacional. Em suma, é essa secretaria que avalia os estudos de expansão devido a demanda crescente de energia elétrica que são elaborados pela EPE. Nessa avaliação, garantindo a boa política e

sustentabilidade, é definido os lotes (empreendimentos) que serão leiloados e quais as melhores alternativas para suprimir a demanda.

4.3 ANEEL INICIA A INSTRUÇÃO PARA O LEILÃO DE TRANSMISSÃO

Sobre a delegação do Ministério de Minas e Energia (MME) a ANEEL inicia as instruções para o Leilão de transmissão. Cabe ressaltar que a ANEEL não somente leiloa empreendimentos de transmissão, mas também de distribuição e geração de energia elétrica. Mas o foco deste trabalho será em expor sobre leilões de transmissão.

Nesta fase, serão definidos itens como número de lotes, investimento estimado, Preço Teto da Receita Anual Permitida (RAP) e prazo para a entrada em operação comercial.

- Número de Lotes – é quando se define a divisão dos empreendimentos em lotes. E a definição dos lotes podem até ser alterados após a fase de Audiência Pública sendo assim, algo flexível. Um exemplo disso, foi o ocorrido no leilão de transmissão 002/2019 onde o lote 13 que continha uma LT 230 kV Goianira – Trindade, após a fase de Audiência Pública foi retirada do leilão.

- Investimento Estimado – fase que se define, por meio de cálculos estimados, o investimento que aqueles empreendimentos terão e por sua vez sua rentabilidade no decorrer do seu tempo de vigência.

- Preço Teto da Receita Anual Permitida (RAP) – A Receita Anual Permitida segundo a definição da ANEEL é remuneração que as transmissoras recebem pela prestação do serviço público de transmissão de energia elétrica aos usuários. Para as transmissoras que ganharam a concessão para implantar lote no leilão de transmissão a RAP é obtida como resultado do próprio leilão e é paga a partir de quando suas instalações entram em operação comercial, com revisão de aproximadamente de quatro a cinco anos de acordo com os termos de contrato de concessão pré-estabelecidos. Já para as transmissoras que tiveram seu contrato de concessão renovados, a RAP é calculada de acordo com os custos de operação e manutenção.

Existe também uma Resolução Autorizativa sobre os contratos de concessão, para quando há a necessidade de reforços na concessão de transmissão. Nisso a ANEEL calcula um valor adicional a RAP.

O cálculo da RAP é complexo e depende de alguns fatores como, quantidade de investimentos no leilão, quais os empreendimentos que serão disponibilizados, o fator de risco do país, custo para as alternativas de financiamento, relação de despesa

anual em relação ao investimento inicial, taxa de depreciação do empreendimento, encargos setoriais incidentes sobre a receita bruta de transmissão, despesas operacionais e etc, que no caso, não é o enfoque principal deste trabalho.

Para maiores informações sobre a metodologia de cálculo da RAP, a ANEEL deixa a disposição da população em seu portal web o Submódulo 9.8 – “Metodologia de Cálculo de preço teto da Receita Anual Permitida (RAP) dos leilões de concessão de transmissão de energia elétrica”

- Prazo para entrada em operação comercial – essa fase é um cálculo médio que varia de acordo com cada empreendimento disponível no leilão. Esse prazo é realmente definido com mais exatidão no momento que a transmissora vencedora contempla o contrato de concessão do empreendimento.

Após a definição desses atributos para o leilão, a ANEEL submete a documentação do leilão ao Tribunal de Contas da União (TCU).

4.4 INVESTIDORES E SOCIEDADE PODEM FAZER SUAS CONTRIBUIÇÕES À PROPOSTA DE EDITAL DO LEILÃO COLOCADA EM AUDIÊNCIA PÚBLICA DA ANEEL

A fase de audiência pública é muito importante para a sociedade como um todo pois se trata de um ato de cidadania.

A ANEEL, antes de definir os regulamentos e alterações no setor de energia elétrico no país como por exemplo os leilões e tarifas, disponibiliza à sociedade e investidores os documentos base antes de publicar o edital final.

Além de ter uma significância na relação com a sociedade, a ANEEL acredita que essa abertura auxilia na tomada de decisões para os empreendimentos.

“A Consulta Pública é um instrumento administrativo de competência dos líderes das unidades organizacionais da ANEEL para apoiar as atividades na instrução de processos de regulamentação e fiscalização ou na implementação de suas atribuições específicas”.

As Audiências Públicas são realizadas de maneira documental, ou seja, aquele que tiver o interesse em expressar suas contribuições deverá enviá-la por escrito. Logo após a abertura do processo de Audiência Pública, é informado se haverá reunião presencial, ou seja, os participantes devidamente inscritos poderão, em viva voz, expressar suas contribuições relacionadas a pauta em questão, ou até discutir sobre contribuições já enviadas.

Após o processo de Audiência Pública, a ANEEL aprova toda a documentação e publica a versão final do edital do respectivo Leilão de Transmissão em seu portal oficial.

4.5 INVESTIDORES PODEM VISITAR AS INSTALAÇÕES EM LICITAÇÃO E SE INSCREVEM PARA O CERTAME

Esse é um momento de muita importância tanto para as transmissoras com intenção de participar do leilão quanto para os projetistas de linhas que estão envolvidos no processo, pois é nesse momento que já se iniciam os pré-projetos, ou como é conhecido, a pré-engenharia.

A pré-engenharia nada mais é do que um estudo preliminar dos parâmetros que envolvem um projeto de linhas de transmissão como: Estudo preliminar das Velocidades e Pressões de Vento, Planilha de Quantitativo Preliminar, Definição Preliminar dos Cabos Condutores e Para-raios e etc. E incluído esses parâmetros está a visita dos projetistas e representantes da transmissora para a região onde será a implantação da LT para se tomar nota de alguns detalhes como por exemplo os obstáculos no trecho da LT para o projeto.

Importante notar que a visita ao local de implantação da linha de transmissão é decisiva principalmente para as transmissoras que irão participar o certame, pois é um dos fatores que irão influenciar em quanto será o seu lance no leilão de transmissão.

4.6 ANEEL REALIZA O LEILÃO COM O APOIO DA B3

Diante de todos os documentos e etapas para o leilão definidos, a ANEEL realiza o leilão de transmissão juntamente com o apoio da B3 (Bolsa de Valores Brasileira).

No dia do certame, os investidores e colaboradores comparecem ao local previamente determinado para participarem do leilão. O leilão é aberto a ampla concorrência de empreendedores nacionais e internacionais.

O funcionamento do leilão se dá da seguinte maneira: vence aquele que oferecer o menor valor de RAP para o empreendimento, ou seja, para um determinado valor de RAP para um empreendimento, aquele que oferecer o maior deságio sobre o valor da RAP para aquele empreendimento ganha.

Então no dia do leilão os participantes do certame, a primeiro momento, de forma não verbal, ou seja, escrita em um envelope, declaram o seu valor de deságio sobre a RAP para o tempo de vigência da LT. Diante disso aquele que oferecer o menor valor de RAP ganha o leilão para aquele empreendimento.

Caso haja uma diferença entre os participantes de 5%, ou seja, os valores oferecidos estão muito próximos, aquele empreendimento vai a viva voz, isto é, a declaração passa a não ser mais escrita, mas a viva voz.

Após o leilão, os vencedores devem apresentar a documentação necessária para só então assinarem o contrato de concessão, que a cada leilão se encontra disponível no portal digital da ANEEL para a sociedade.

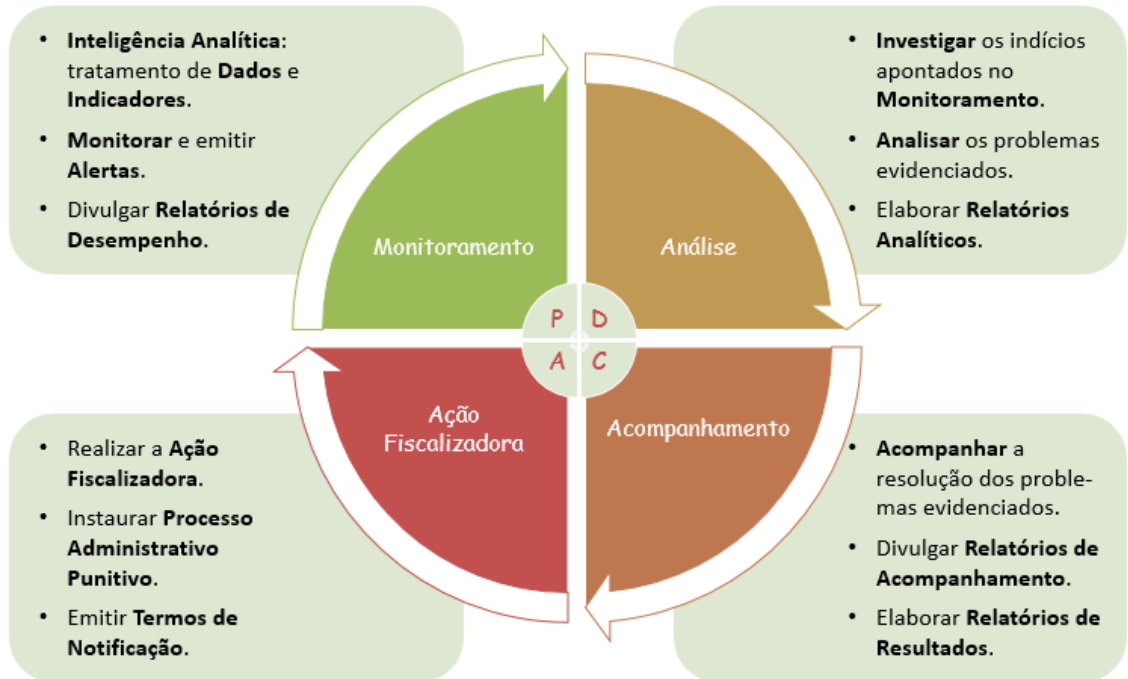
Linhas de transmissão advindas de leilão permanecem em vigência sobre a responsabilidade da transmissora por trinta anos. E o prazo para a implantação da LT pela transmissora varia de acordo com empreendimento e suas variáveis, mas em geral, costuma ser de aproximadamente de quatro a cinco anos.

O sistema de transmissão nacional é administrado centralizadamente pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) que possui os Procedimentos de Rede com vinte e cinco módulos nos quais reúnem as normas de operação para a fiscalização.

A fiscalização dos serviços de transmissão no Brasil está sob a responsabilidade da Superintendência de Fiscalização dos Serviços de Eletricidade (SFE) e tem como objetivo orientar as concessionárias na adequação dos serviços públicos de transmissão de energia elétrica prestados e à manutenção e operação do

sistema de transmissão. A Figura 4.3 mostra o ciclo PDCA – Planejar, Fazer, Checar e Agir – de fiscalização dos Serviços de Transmissão (aneel.gov.br).

Figura 4.3 – PDCA da Fiscalização dos Serviços de Transmissão.



Fonte: www.aneel.gov.br.

5 PROJETOS DE LINHAS AÉREAS DE TRANSMISSÃO

Após os processos descritos no capítulo 4, incluindo o pré-projeto, inicia-se os projetos eletromecânicos de linhas de transmissão. Cada etapa do projeto é de suma importância para definir a eficiência e qualidade da energia elétrica transmitida.

Para que o projeto seja conduzido da melhor forma, é necessária, antes de tudo, a definição da matriz de responsabilidades. Essa matriz tem como principal objetivo a atribuição de funções e responsabilidades dentro dos processos que compõem o projeto. As atribuições de responsabilidades e funções devem ser formalizadas e documentadas a fim de evitar dúvidas e conflitos entre os membros da equipe. Estas definições devem estar intimamente ligadas à definição do escopo da implantação.

Independentemente de onde ficarão estas informações, é fundamental que estejam disponíveis para toda a equipe e acessível ao longo do projeto, pois é impensável gerenciar um projeto sem que os membros da equipe tenham o devido conhecimento das suas responsabilidades. E, para garantir que todos os processos correrão bem, é importante mapear todas as partes envolvidas, como as áreas relacionadas ao meio ambiente, fundiário, financeiro, regulação e propriamente dito engenharia.

Os projetos eletromecânicos de linhas de transmissão são constituídos basicamente por projeto básico, projeto executivo e As Built.

5.1 PROJETO BÁSICO DE LINHAS AÉREAS DE TRANSMISSÃO.

Projeto Básico é o conjunto de elementos necessários e suficientes, com nível de detalhe adequado, para caracterizar a obra ou serviço, ou complexo de obras ou serviços objeto da licitação, elaborado com base nas indicações dos estudos técnicos preliminares, que assegurem a viabilidade técnica e o adequado tratamento do impacto ambiental do empreendimento, e que possibilite a avaliação do custo da obra e a definição dos métodos e do prazo de execução.

Projeto básico é onde todas as especificações essenciais de qualidade e desempenho do objeto da contratação, como uma linha de transmissão, parque eólico ou subestação, onde normalmente é composto dos seguintes documentos: Normas Técnicas Oficiais; Velocidades e Pressões de Vento; Estudo Mecânico dos Cabos; Faixa de Segurança; Distâncias de Segurança; Definição dos Cabos Condutores e Para-Raios; Série de Estruturas; Coordenação de Isolamento; Sistema de Aterramento; Ferragens e Isoladores; Sistema de Amortecimento; Critérios de Projetos de Fundações; Parâmetros Elétricos; Perdas Joule e Desequilíbrio; Diretriz Seleccionada e Memorial Descritivo.

Esses documentos se complementam e exigem além do conhecimento técnico, a expertise do engenheiro e ou equipe responsável pelo projeto.

5.1.1 Normas Técnicas Oficiais

O documento Normas Técnicas Oficiais é um dos primeiros documentos a serem feitos em um projeto de linha aérea de transmissão e é composto das normas técnicas nacionais e internacionais que regem cada detalhe do projeto básico e executivo no que diz sobre detalhamento, fabricação, ensaios, inspeção, embalagem e embarque de estruturas metálicas e ou de concreto, cabos condutores, cabos para-raios, isoladores e ferragens do trecho de LT em questão.

As normas mais comuns utilizadas para projetos eletromecânicos de linhas de transmissão são:

IEC - International Electrotechnical Commission:

- IEC 60826 Loading and Strength of Overhead Transmission Lines.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas:

- NBR 5422 Projeto de Linhas Aéreas de Transmissão de Energia Elétrica;
- NBR 6535 Sinalização de Linhas Aéreas de Transmissão com Vista à Segurança da Inspeção Aérea – Procedimento;
- NBR 7376 Sinalização de Advertência para Linhas Aéreas de Transmissão de Energia Elétrica – Procedimento;
- NBR 8664 Sinalização para Identificação de Linhas Aérea de Transmissão de Energia Elétrica – Procedimento;
- NBR 15238 Sistema de sinalização para linhas aéreas de transmissão de energia elétrica.

5.1.2 Velocidades e Pressões de Vento

O estudo de Velocidade e Pressões de Vento se trata de um estudo que expõe os resultados dos cálculos das pressões de vento nas cadeias, cabos e estruturas combinando dados climatológicos e ventos da região de implantação da LT seguindo as normas NBR 5422/85 e IEC 60826.

O engenheiro projetista de linhas aéreas de transmissão ao se deparar com esse estudo irá encontrar os desafios de aplicação dos equacionamentos e a interpretação dos resultados obtidos. A partir disto, esse estudo irá fundamentar questões como tração nas estruturas, do estado dos condutores em determinadas condições de clima e vento e algo de fundamental importância é a definição da “árvore de carregamento” da estrutura, ou seja, os esforços nos pontos de fixação da estrutura devido a somatório dos pesos dos cabos, das cadeias e ferragens e da ação dos ventos que irão definir posteriormente a forma de construção da mesma.

Para a elaboração é imprescindível a consideração as características eletromecânicas da LT que será implantada, como por exemplo frequência, tensão nominal, tipo de estrutura típica, número de fases, número de circuitos, número de condutores por fase, disposição dos circuitos nas torres, cabo condutor, cabo para-raios e isoladores, bem como os parâmetros climatológicos e geológicos da região de implantação.

Alguns dados climatológicos são muito importantes para todo o projeto. O conhecimento desses dados ajuda na definição de outros fatores de projeto.

- Temperatura Média (EDT – Every Day Temperature): Valor médio da distribuição das temperaturas com taxa de amostragem horária.
- Temperatura Máxima Média: Valor médio da distribuição das temperaturas máximas diárias.
- Temperatura Mínima: Valor mínimo com probabilidade de 2% de vir a ocorrer temperatura menor anualmente, obtido da distribuição de temperaturas mínimas anuais.
- Temperatura Máxima: Valor máximo com probabilidade de 2% de vir a ser excedido anualmente, obtido da distribuição de temperaturas máximas anuais.
- Temperatura Coincidente: Valor considerado com média das temperaturas mínimas diárias e suposto coincidente com a ocorrência da velocidade do vento de projeto.

Esses dados climatológicos podem ser obtidos a partir de estudos mais completos terceirizados realizados a partir de dados de estações anemométricas ou, tendo em vista um estudo de pré-projeto, através dos anexos da NBR 5422/85.

- Velocidade Básica do Vento (V_b): Velocidade do vento referida a um período de retorno de 50 anos, a 10 metros de altura do solo, com período de integração de 10 minutos e medida em um terreno aberto com poucos obstáculos. Para garantir uma melhor precisão alguns projetos necessitam de períodos de retorno maior logo, para períodos de retorno que sejam diferentes de 50 anos, existe um método estatístico para se fazer a devida correção segundo a equação 5.1:

$$VT = \beta \cdot \frac{\ln(-\ln(1 - 1/T))}{\sigma} \quad (5.1)$$

Em que:

α – Estimador do fator de escala da distribuição de Gumbel, que pode ser obtido da figura 29 em anexo na norma técnica NBR 5422/85;

β – Estimador do fator de posição da distribuição de Gumbel, que pode ser obtido da figura 30 em anexo na norma técnica NBR 5422/85

T – Período de retorno em anos.

Um fator importante para os cálculos e apresentação de dados do projeto básico é a correção de rugosidade. São quatro categorias (A, B, C e D) de terreno que são definidos na NBR 5422/85 seus respectivos coeficientes de rugosidade (K_r).

Tabela 5.1 – Coeficientes de rugosidade do terreno.

Categoria do Terreno	Características do Terreno	Coeficientes de rugosidade K_r
A	Vastas extensões de água; áreas planas costeiras; desertos planos	1,08
B	Terrenos aberto com poucos obstáculos	1,00
C	Terrenos com obstáculos numerosos e pequenos	0,85
D	Áreas urbanizadas; terrenos com muitas árvores altas	0,67

Considerando as notas da NBR 5422/85 sobre os coeficientes de rugosidade cabe ressaltar que os valores de K_r correspondem a uma velocidade de vento média sobre 10 minutos (período de integração de 10 minutos), medida a 10 metros de altura do solo e que as mudanças previstas nas características da região atravessada devem ser levadas em conta na escolha de K_r .

- Velocidade do Vento de Projeto (V_p): Valor determinado a partir da velocidade básica do vento (V_b), corrigida de modo a levar em conta o grau de rugosidade da região de implantação da linha, o intervalo de tempo necessário para que o obstáculo responda à ação do vento, a altura do obstáculo e o período de retorno adotado.

Algumas considerações de correções devem ser feitas:

1) Quando a rugosidade do terreno for diferente do tipo B (Tabela 5.1), deve-se multiplicar a Velocidade Básica de Vento por K_r do referido terreno.

2) Cada elemento que compõem uma linha de transmissão possui uma resposta diferente a ação do vento incidente. Como exemplo, para a ação do vento nos suportes e nas cadeias de isoladores o período de integração deve ser considerado igual a 2s, enquanto que sobre os cabos usa-se 30s. O fator de correção de velocidades de ventos com tempos de integração diferentes é o K_d .

3) Para a correção da altura, deve-se usar o fator de correção dado por K_h que é expresso pela equação 5.2:

$$K_h = \left(\frac{H}{10}\right)^{\frac{1}{n}} \quad (5.2)$$

Portanto a Velocidade de Projeto será determinada pela equação 5.3:

$$V_p = K_r \cdot K_d \cdot K_h \cdot V_b \quad (5.3)$$

Para um bom projeto de linhas de transmissão, garantindo a confiabilidade e segurança, é usual a formulação, no mínimo, das seguintes hipóteses de carga (solicitação), as quais corresponderão às respectivas limitações de solicitações:

- Hipóteses de carga de Maior Duração: Temp. EDT, sem vento;

- Hipóteses de carga de Flecha Mínima: Temp. Mínima, sem vento;
- Hipóteses de carga de Vento Máximo: Temp. Coincidente (média das mínimas);

Neste documento também são apresentados os ventos de alta intensidade, que apresentam pouca variação em relação à altura de atuação e tendo como característica o fato de possuir uma frente estreita. Logo, os Vento de Alta Intensidade (VAI) são iguais ao Velocidade de Vento Básico (Referência).

Então com base nos estudos de Isótacas Máximas para o local de locação da LT observa-se os valores de atividade eólica máxima previstos, como por exemplo, tipo de vento nominal (50 anos/ 10 minutos), vento extremo (150 ou 250 anos/10 minutos), rajada (150 ou 250 anos/3 segundos), reduzido (60% da velocidade de vento extremo), ação do vento na cadeia, vento para cálculo de ângulos de balanço (Frequência Industrial, Surto de Manobra, largura da faixa de segurança).

A denominada “Pressão de Vento de Referência” é definida através da expressão 5.4:

$$q_0 = \frac{1}{2} \mu (K_r V_p)^2 \text{ N/m}^2 \quad (5.4)$$

A esforço advindo da ação dos ventos máximos e reduzido sobre os cabos, aplicado perpendicularmente ao seu eixo no seu ponto de fixação ao suporte, é dado pela expressão de acordo com a norma internacional IEC 60826.

Determina-se também a carga de vento atuante na estrutura. Esse cálculo virá definido pelo fabricante, com base na norma internacional IEC 60826, no item 6.2.6.4.1 e figuras 5, 6 e 7 da norma.

Assim, com base nos dados e cálculos, consegue-se concluir os estudos de velocidades e pressões de vento sobre a LT.

5.1.3 Estudo Mecânico dos Cabos

O objetivo deste estudo pertencente ao projeto básico de uma linha de transmissão é definir as condições de governo, isto é, o comportamento durante a vida útil de uma linha de transmissão, dos cabos condutor e para-raios, utilizadas no cálculo das trações do referido projeto.

As cargas nos cabos decorrem de seu peso próprio, da pressão de vento horizontal uniformemente distribuída ao longo do vão e da componente horizontal da tração axial (NBR 5422/85).

Para obter os cálculos mecânicos dos cabos condutor e para-raios considera-se as características essenciais dos cabos escolhidos como por exemplo, o tipo dos cabos, área total da seção transversal, carga de ruptura, peso unitário, módulo de elasticidade inicial e final e coeficiente de dilatação linear inicial e final.

Vale ressaltar que para a escolha dos cabos condutor e para-raios pelo projetista se dá pela expertise do mesmo, e quando a linha é concedida a partir de leilão de transmissão geralmente, o que não garante a melhor escolha em termos de eficiência e economia, vem a descrição dos cabos sugeridos a partir dos estudos para a implantação.

Para o cálculo mecânico dos cabos condutor e para-raios são definidos nesse estudo as condições básicas de projeto como:

- Trações de Maior Duração (EDS – Every Day Strength)

Condição de tração média do cabo condutor considerando a temperatura de EDS, correspondendo a uma porcentagem, especificada pela NBR 5422/85 dependendo de cada tipo de cabo (CAA, CA (condutor de alumínio), CAL (condutor de alumínio liga...), da carga de ruptura do cabo, condição final do condutor após o lançamento (creep de 10 anos), sem vento incidente.

Para os cabos para-raios, caso tenha mais de um, considera-se trações a temperatura de EDS, na condição final, para flechas definidas de forma a serem 90% da flecha do cabo condutor, na temperatura mínima, final sem vento.

- Sob Ação do Vento

Atendendo recomendações do item 8.3.1.1 do Submódulo 2.4 do ONS “Requisitos mínimos para linhas de transmissão aéreas” e da NBR 5422/88 temos que para o cabo condutor tem-se, para essa condição, 50% da carga de ruptura à temperatura de ocorrência do vento de projeto, condição final, para um período de

retorno de 50 anos e sua pressão de vento associada (50 anos) e 70% da carga de ruptura do cabo à temperatura de ocorrência do vento de projeto, condição final, para um período de retorno de 150 anos (ou 250 anos) e pressão de vento associada.

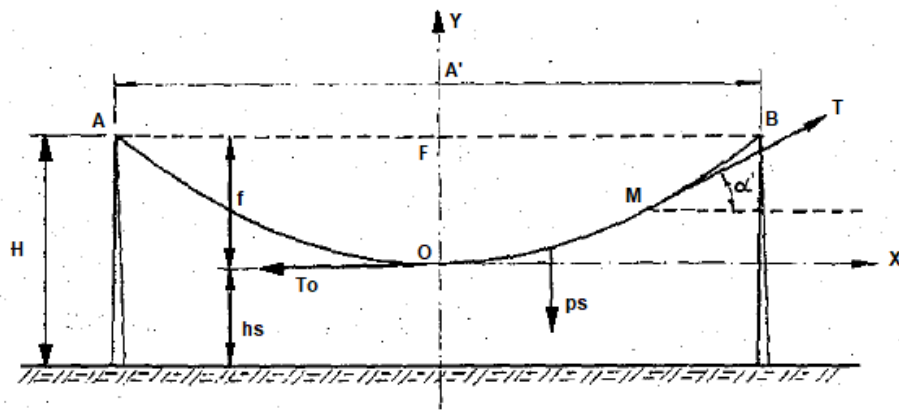
Para cabos para-raios, tem-se a mesma referência descrita para cabo condutor, diferenciando-se por sua carga de ruptura ser diferente e conseqüentemente suas pressões de vento associada.

- Temperatura Mínima

Segundo as recomendações da NBR 5422/85 tem-se que para a condição de temperatura mínima tanto para cabo condutor quanto para cabos para-raios, é definido da mesma forma, ou seja, 33% da respectiva carga de ruptura do cabo à temperatura mínima, condição inicial e sem vento incidente.

Para o cabo fixado na estrutura forma-se uma curva chamada catenária. A distância perpendicular da reta formada pelos pontos de fixação do cabo e o ponto mais baixo da catenária é chamada de flecha, isto é, segundo a figura 5.1, $OF = f$.

Figura 5.1 – Condutor suspenso em dois suportes de mesma altura.



Fonte: Fuchs, 1992.

Para o cálculo da flecha tem-se a equação 5.5:

$$f = \frac{p_s \cdot A^2}{8 \cdot T_0} \quad (5.5)$$

Onde: p_s – Peso do condutor por unidade (kgf/m);

A – Vão equivalente (m);

T_0 – Tração axial do condutor (conforme a CR em kgf)

O termo h_s da figura 5.1, é definido como altura de segurança do cabo condutor.

Para os cálculos das trações, é utilizada a Equação de Mudança de Estado descrita no livro referência “Projeto mecânicos das linhas de aéreas de transmissão”, FUCHS 2ª edição, página 229 e explícita na equação 5.6.

$$T_{02}^3 + T_{02}^2 \left[\frac{ESp_1^2 A^2}{24T_{01}^2} + ES\alpha t(t_2 - t_1) - T_{01} \right] = \frac{ESp_2^2 A^2}{24} \quad (5.6)$$

Onde:

T_{01} – Tração inicial do cabo;

T_{02} – Tração final do cabo;

E – Módulo de elasticidade do cabo;

S – Área do cabo;

p_1 – Peso nominal do cabo;

p_2 – Peso virtual devido a ação do vento sobre o cabo;

A – Vão de aplicação;

α – Coeficiente de dilatação térmica do cabo;

t_1 e t_2 – Temperatura Inicial e Temperatura Final do ambiente respectivamente.

É uma equação de suma importância dentro dos projetos de linhas de transmissão pois a partir dela o projetista pode ter uma visão de estado do cabo como sua flecha e a tração horizontal a qual a estrutura será submetida a partir da variação das pressões de vento e clima da região de implantação.

É uma das equações mais utilizadas pelos projetistas pois os resultados encontrados a partir da sua aplicação auxiliam na definição e seleção dos tipos de ferragens, e estruturas, visto que a partir das trações observadas pode-se definir a “árvore de carregamento das estruturas”, isto é, os esforços nos pontos chaves das estruturas.

Nota-se que os resultados estudo de velocidade e pressões de vento fazem parte desse estudo de condições de governo dos cabos, o que evidencia uma relação dependente entre um estudo e outro.

5.1.4 Faixa de Segurança

Esse estudo tem como base a norma técnica NBR 5422/85 e estabelece a largura da faixa de segurança do projeto da linha aérea de transmissão de energia, com base o balanço dos cabos devido à ação dos ventos, ao posicionamento das fundações das estruturas e estais, isto é, critérios mecânicos e considerando efeitos elétricos, ou seja, critérios elétricos.

Segundo a norma, considerando o critério mecânico, o cálculo da largura da faixa de segurança, de uma única linha, é determinado pela expressão 5.7:

$$L = 2 \cdot (b + d + D) \quad (5.7)$$

Onde: b – Distância horizontal do eixo do suporte ao ponto de fixação do condutor mais afastado deste eixo (m);

d – Soma das projeções horizontais da flecha do condutor e do comprimento da cadeia de isoladores, em metros, após seu deslocamento angular β devido à ação do vento;

$D = Du/150$, em metros, no mínimo igual a 0,5 m;

O ângulo de balanço da cadeia e do condutor (que são considerados os mesmos), segundo a norma (NBR 5422/85), é calculado pela expressão 5.8:

$$\beta = \tan^{-1} \left(\frac{k \cdot q_0 \cdot d}{p \cdot \left(\frac{V_p}{V_v} \right)} \right) \quad (5.8)$$

Onde: k – Parâmetro obtido da figura 7 da NBR 5422/85 com relação ao vento de projeto;

q_0 – Pressão dinâmica de referência (kgf/m²);

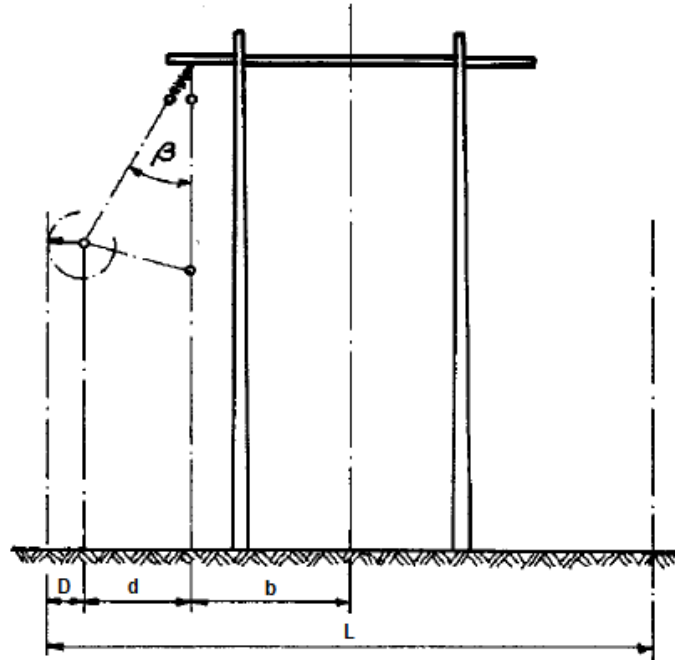
V_p/V_v – Relação vão de peso por vão de vento;

d – Diâmetro do cabo, em m;

p – Peso do cabo condutor (kgf/m);

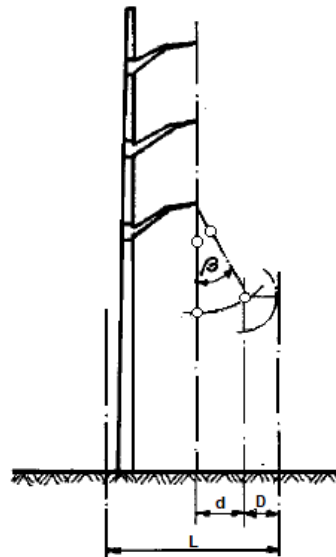
Encontrando o valor L da largura da faixa de segurança, determina pra cada lado do eixo da LT o valor de $L/2$ para cada lado como ilustrado nas figuras 5.2 e 5.2.

Figura 5.2 – Faixa de servidão – condutores dispostos horizontalmente.



Fonte: NBR 5422 – Projeto de Linhas Aéreas de Transmissão de Energia Elétrica.

Figura 5.3 – Faixa de servidão – condutores dispostos verticalmente.



Fonte: NBR 5422 – Projeto de Linhas Aéreas de Transmissão de Energia Elétrica.

Considerando os efeitos elétricos, deve-se que atender os critérios de: Gradiente Superficial (efeito corona), Rádio Interferência, Ruído Audível, Campo Elétrico e Campo Magnético.

a) Corona Visual

A manifestação luminosa do efeito Corona acontece quando o gradiente de potencial na superfície do condutor supera o gradiente disruptivo do ar.

A fórmula de Peek, equação 5.9, fornece o valor do gradiente crítico visual máximo:

$$E_{pico} = 30 \cdot \delta \cdot m \cdot \left(1 + \frac{0,3}{\sqrt{\delta \cdot r}}\right) \text{ em } kV/cm \quad (5.9)$$

Onde: r – Raio do condutor em cm; m – Coeficiente de aspereza do cabo;

δ – Densidade relativa do ar;

Isto significa que o gradiente em cada condutor não poderá superar o valor acima, caso contrário o fenômeno Corona Visível estará presente na LT.

Para o cálculo do gradiente de cada condutor utiliza-se a equação 5.10 e 5.11:

$$E_i = \frac{1}{2\pi\epsilon} \cdot \left(\frac{1}{r_i}\right) \cdot (Q_i) \quad (5.10)$$

Em que,

$$Q_i = [A]^{-1} \cdot [U_i] \quad (5.11)$$

Onde: A – Matriz dos coeficientes de potencial, ou dos coeficientes do campo elétrico, de Maxwell;

U_i – Vetor formado pelos fasores das tensões eficazes dos condutores em relação ao solo;

$1/r_i$ – Matriz das recíprocas dos raios dos condutores;

ϵ – 8,85e-12 F/km;

O gradiente superficial máximo deve ser limitado de modo a garantir que os condutores e ferragens associadas não apresentarão corona visual em 90% do tempo, para as condições atmosféricas predominantes na região de implantação da LT.

b) Campo Elétrico e Magnético

Os campos elétricos e magnéticos de uma linha de transmissão devem seguir a restrição básica da Resolução Normativa nº616 da ANEEL, de 01 de julho de 2014. Essa restrição diz: “são os limites máximos de exposição humana a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos variantes no tempo, baseados em efeitos reconhecidos à saúde, recomendados pela Organização Mundial de Saúde – OMS de modo a garantir que essas grandezas físicas não ultrapassem os limiares mínimos de interação biofísica com tecidos vivos, de modo a não causar danos à saúde”.

Esses limites recomendados pela Organização Mundial da Saúde (OMS) para exposição do público em geral e da população ocupacional a campos elétricos e magnéticos na frequência de 60 Hz estão apresentados na Tabela 5.2:

Tabela 5.2 – Recomendações OMS para exposição ao campo elétrico e campo magnético.

	Campo Elétrico (kV/m)	Campo Magnético (μT)
Público Geral	4,17	200,00
Público Ocupacional	8,33	1.000,00

Fonte: NBR 5422 – Projeto de Linhas Aéreas de Transmissão de Energia Elétrica.

Então os campos elétricos e magnéticos neste documento são obtidos a fim de não ultrapassarem esses limites estabelecidos. Fica a critério o uso de metodologias de cálculo para cada projetista, contando que se garanta a eficiência real.

c) Ruído Audível

Nas proximidades de algumas linhas de transmissão, ou em uma subestação de transmissão, pode-se ouvir um “chiado”. Nesse documento, um estudo é apresentado indicando os níveis aceitáveis deste ruído audível aos seres humanos devido às linhas de transmissão.

A potência do ruído audível depende das condições climáticas, do campo elétrico na superfície do condutor, do número de subcondutores da fase, do diâmetro do cabo e da distância da linha até o ponto de medição.

Geralmente o cálculo do ruído audível é feito em fórmulas empíricas, apresentadas por pesquisadores que estudam linhas em operação.

O critério para Ruído Audível é que sob chuva fina ($<0,00148$ mm/min) ou névoa com 4 horas de duração ou após 15 minutos de chuva o ruído audível no limite da faixa de segurança deve ser inferior ou, no máximo, igual a 58 dBA.

d) Rádio Interferência

A rádio interferência é um distúrbio não desejado atuando na faixa de transmissão AM, cerca de 500 kHz a 1600 kHz. Uma das fontes de tal distúrbio é justamente o efeito Corona, que provoca pulsos de corrente e tensão nos condutores da Linha de Transmissão.

Existem vários fatores que provocam a rádio interferência, como por exemplo, geometria da cabeça da estrutura, frequência do sinal, condições climáticas da região de implantação da LT, entre outros.

O nível mínimo de sinal especificado pelo DENTEL (Departamento Nacional de Telecomunicações) a relação sinal/ruído, no limite da faixa de segurança, deve ser igual ou superior a 24 dB, para 50% das condições atmosféricas que ocorrem no ano.

É tomado o valor da largura da faixa de segurança da linha de transmissão em projeto aquele que atende todos esses critérios, ou seja, mecânico ou elétrico.

Essa interpretação de resultados é uma habilidade fundamental do engenheiro projetista, pois com relação a questão econômica fundiária por exemplo, a não definição adequada da faixa de segurança – faixa de domínio – pode acarretar custos excedentes para a construtora da LT.

E diante desse estudo notamos mais uma vez a ligação entre outros estudos e seus dados, ou seja, a necessidade do engenheiro ter conhecimento técnico e experiência para lidar com os dados de projeto podem garantir uma boa execução e finalização de obra, ou entregar um projeto mal executado e superestimado.

5.1.5 Distâncias de Segurança

Este documento trata-se da definição, segundo a norma NBR 5422/85, das Distâncias de Segurança da linha de transmissão em projeto.

Segundo a referida norma, as distâncias de segurança são os afastamentos mínimos recomendados do condutor e seus acessórios energizados e quaisquer partes, energizadas ou não, da própria linha, do terreno ou dos obstáculos atravessados. Isto inclui, outras fases, cadeias de isoladores, estrutura por exemplo.

Para essa definição são colocados critérios de condição normal de operação e critérios de emergência. Por exemplo na condição de flecha dos cabos temos deve ser considerada a condição mais desfavorável.

As distâncias de segurança a ser consideradas para projeto, segundo a NBR 5422/85, são: distâncias mínimas no suporte, distâncias mínimas do condutor ao solo ou dos obstáculos em condições normais de operação e distâncias mínimas do condutor ao solo ou dos obstáculos em condições de emergência.

a) Distâncias mínimas no suporte:

As distâncias de segurança de suporte deverão ser definidas a partir dos estudos de solicitações elétricas a qual ela será submetida, com as condições de vento incidente e com a geometria proposta da estrutura.

Segundo a norma, as distâncias nos suportes com cadeias de ancoragem, não deverão ser inferiores às calculadas segundo as fórmulas apresentadas na tabela 4 da mesma.

- Distâncias horizontais: Para circuitos diferentes, quando um ou ambos excederem 169 kV CA (corrente alternada), fase-fase, os espaçamentos horizontais poderão ser reduzidos para circuitos que tenham fatores de surto de manobra conhecidos tanto distâncias fase-fase quanto fase e elementos aterrados do suporte (para distância vertical), usando a fórmula descrita na seção 10.2.2.1 da NBR 5422/85.

- Distâncias verticais (fase e cabo para-raios, entre fase e estais e fase-fase): Para circuitos acima de 169 kV CA tensão de linha, e tenham fator de surto de manobra conhecidos, o espaçamento entre fase e para-raios, entre fase e estais e fase-fase poderão ser calculados segundo a norma pela fórmula descrita na seção 10.3.2.3 da norma NBR 5422/85.

b) Distância mínima do condutor ao solo ou aos obstáculos em condições normais de operação

Segundo a norma, para a definição dessa distância considera-se as condições mais desfavoráveis de aproximação do condutor ao obstáculo considerado.

Para o Cálculo convencional, utiliza-se a fórmula descrita no item 10.3.1 da norma NBR 5422/85 onde "a" é apresentado na tabela 5 – “Distâncias básicas” da mesma.

c) Distância mínima do condutor ao solo ou aos obstáculos em condições de emergência

As distâncias mínimas de segurança, em metros, são dadas conforme a equação e tabela 7 – “Distâncias básicas em condições de emergência” descritas, respectivamente, nas seções 10.4.2 e 10.4.2.1 da NBR 5422/85.

5.1.6 Definição dos cabos condutores e para-raios

Neste documento apresenta-se as principais características dos cabos condutor e para-raios.

O objetivo desde é, juntamente com as premissas adotadas, apresentar a justificativa técnica da escolha dos cabos condutores e para-raios definindo as temperaturas a quais eles serão submetidos (longa e curta duração para o condutor) a ser utilizada no projeto de locação das estruturas nos desenhos de planta e perfil.

O relatório R2 emitido segundo os estudos da EPE (Empresa de Pesquisa Energética) constante no edital do respectivo leilão do empreendimento em projeto, sugere a determinação dos cabos condutor e para-raios, desta forma as avaliações desse estudo do projeto básico demonstram seu atendimento às exigências do edital.

O estudo em questão analisa o comportamento técnico do condutor diante dos níveis de corrente atravessado pelo mesmo, a capacidade de corrente dos para-raios e sua configuração/dimensionamento a partir desta análise.

Caso seja verificado divergência, a projetista da LT deve apresentar soluções coerentes para com a norma vigente e o edital.

5.1.7 Série de Estruturas

Neste estudo do projeto básico de uma LT, apresenta-se informações sobre as estruturas a serem aplicadas no projeto em questão.

Inclui-se informações como: nome das estruturas, características dos condutores e isoladores, esforços solicitantes e as hipóteses de carga, condições de aplicação, além de diretrizes a serem observadas no dimensionamento das estruturas e silhueta das estruturas de projeto.

No Anexo A, está um exemplo de silhueta de uma estrutura estaiada e outro exemplo de estrutura autoportante, com a base de seus detalhes construtivos.

5.1.8 Coordenação de Isolamento

Este documento tem como objetivo apresentar o estudo de coordenação de isolamento e dimensionar as distâncias mínimas de isolamento para a estrutura típica do projeto, ou seja, a estrutura que mais aparece naquela linha em projeto.

A partir das solicitações elétricas previstas, da climatologia da região atravessada e do desempenho desejado para o isolamento da linha, será definida a quantidade mínima de isoladores das cadeias, vem como suas características básicas. Serão determinadas as distâncias mínimas de isolamento, para as seguintes condições de operação da linha, isto é, frequência industrial, sobretensões de manobra e descargas atmosféricas.

A cada uma dessas solicitações está associado um ângulo de balanço dos cabos e das cadeias de isoladores devido à ação do vento, impondo diferentes requisitos de isolamento.

Também será analisado o desempenho da linha em função do número de desligamentos previstos, de acordo com a geometria proposta para o topo da estrutura.

Diante desses dados de isolamento, determina-se o risco de falha para religamento e energização, e os resultados de falha de blindagem e backflashover.

5.1.9 Sistema de Aterramento

Este estudo se trata dos critérios adotados para a definição do sistema de aterramento das estruturas do trecho de LT em projeto.

Trata-se de apresentar com base na resistividade do solo que por se tratar de um parâmetro essencial para o desenvolvimento deste estudo, as medições de resistividade devem ser executadas conforme orientações das normas aplicáveis para tal finalidade.

É definido também qual o cabo contrapeso será utilizado para o sistema de aterramento da LT.

Após definido as malhas de aterramento, determina-se os critérios de instalação do aterramento e como será realizada a medição da resistência de aterramento.

5.1.10 Ferragens e Isoladores

Este documento tem como objetivo apresentar as principais características e os materiais das cadeias de isoladores do cabo condutor e dos conjuntos para fixação dos cabos para-raios e acessórios a serem utilizados na LT em projeto.

Considerando isto, a partir das características elétricas e mecânicas a qual a linha será submetida, é recomendado as características mínimas e o tipo de isolador a ser utilizado no projeto ao cliente pela projetista, bem como o tipo de ferragem utilizada.

Apresenta-se também o desenho esquemático das cadeias com os elementos escolhidos como anexo ao documento.

As normas normalmente utilizadas são a NBR 5422/85 e NBR 7095/81 (Ferragens eletrotécnicas para linhas de transmissão e subestações de alta tensão).

5.1.11 Sistema de Amortecimento

O objetivo deste documento é apresentar os requisitos técnicos a serem observados na definição do sistema de amortecimento (relacionado à fadiga mecânica) dos cabos condutores e para-raios referente à LT em projeto.

A ação do vento com velocidade constante sobre os cabos condutores e para-raios da linha de transmissão provoca basicamente dois tipos diferentes de movimentos oscilatórios: vibração eólica e oscilação de subvão.

Esses movimentos oscilatórios se não forem devidamente amortecidos, poderão chegar a valores críticos, culminando com o rompimento dos cabos, seja pela fadiga, seja pelo efeito de grande amplitude, e, em casos mais severos, até afetar a integridade das estruturas.

Na linha de transmissão, a existência de um vento lateral de velocidade constante provoca oscilações de alta frequência e pequena amplitude nos cabos.

A necessidade de dispositivos de proteção contra vibração eólica será verificada de acordo com as orientações apresentadas na Brochura Técnica nº 273 do Cigré.

As informações e recomendações apresentadas nesse documento devem ser confirmadas pelo fabricante dos componentes do sistema de amortecimento, através de estudo específico para os vãos da linha de transmissão e de ensaios realizados em material idêntico ou similar ao proposto.

Diante disto tem-se que a experiência de operação de linhas de transmissão tem mostrado que diversos danos aos cabos são causados por falhas na instalação dos espaçadores amortecedores e/ou amortecedores (posicionamento incorreto, torque insuficiente, etc.). Portanto, deverá ser efetuado um rigoroso controle da instalação no campo, para atender às recomendações do(s) fabricante(s).

5.1.12 Critérios de Projetos de Fundação

Neste documento tem-se o objetivo de apresentar os critérios básicos, procedimentos e diretrizes gerais a serem utilizados na elaboração dos projetos de fundações da LT em questão.

Normalmente esse processo de elaboração dos projetos de fundações de linhas de transmissão conta-se, com o auxílio de áreas especializadas da engenharia civil.

Algumas normas técnicas utilizadas para a elaboração desde estudo são NBR 6122/2010, NBR 6118/2014, NBR 14931/2004, NBR 8044/1983 e NBR 5422/85.

As características dos solos a serem efetivamente utilizadas nos projetos executivos das fundações serão determinadas após análise dos resultados das sondagens geotécnicas, a serem realizadas no traçado da LT, e estarão indicadas nas respectivas memórias de cálculo dos projetos.

O detalhamento das fundações será desenvolvido no projeto executivo, quando forem disponibilizados os projetos executivos das estruturas, e conhecidas as características dos solos dos locais de implantação das estruturas.

5.1.13 Parâmetros Elétricos

O estudo em questão é de suma importância para os projetos de linhas aéreas de transmissão de energia.

Este documento pertencente ao projeto básico tem como objetivo apresentar os parâmetros elétricos do trecho de LT, isto é, parâmetros de sequência positiva e zero a partir de simulações computacionais em regime permanente e que definirão os valores das perdas elétricas da linha em projeto.

A partir das principais características do projeto, como tensão nominal, frequência, número de fases, quantidade de circuitos dentre outros, características dos cabos e da estrutura tem-se a verificação desse critério do anexo técnico do edital de leilão referente às perdas joule nos cabos.

5.1.14 Perdas Joule e Desequilíbrio

Este documento tem como objetivo determinar as perdas Joule nos cabos condutor e para-raios e o desequilíbrio entre as fases. O presente estudo irá verificar a adequabilidade dos cabos dimensionados quanto aos requisitos de perdas joule nos cabos para-raios e o desequilíbrio entre fases na subestação terminal.

A perda joule nos cabos para-raios deverá atender ao Submódulo 2.4 - Revisão 2016.12 dos Procedimentos de Rede. O item 7.4.4 deste documento determina que a perda joule nos cabos para-raios deve ser inferior a 5% das perdas no cabo fase para qualquer condição de operação.

Por meio de simulações são calculadas as correntes que circulam nos cabos para-raios. O ATP (*Alternative Transient Program*) fornece, então, as correntes em Ampère de pico. Esses valores são levados para uma planilha Excel onde se faz a conversão dos valores de pico para valores eficazes. De forma organizada, monta-se a matriz que relaciona correntes eficazes com as resistências correspondentes de cada cabo para-raios com os respectivos comprimentos de vão.

O produto da resistência do vão pelo quadrado da corrente corresponde às perdas desse cabo para-raios naquele vão. Fazendo-se a somatória das perdas em cada vão, obtém-se as perdas totais nos cabos para-raios.

O desequilíbrio de tensão deverá atender ao item 7.7.8 do Submódulo 2.4 - Revisão 2016.12 dos Procedimentos de Rede. Este item dispõe em relação ao desequilíbrio: “Caso os desequilíbrios de tensão de sequências negativa ou zero sejam superiores a 1,5%, em vazio e a plena carga, a LT-CA com comprimento igual ou inferior a 100 km deve conter, no mínimo, um ciclo completo de transposição de fases.”

Através de simulações são determinadas as correntes e tensões de cada fase na barra da subestação de destino, nas condições de carregamento nominal de longa duração e a vazio. Para determinar as componentes de sequências positiva, negativa e zero é aplicada a relação de componentes simétricas da equação matricial 5.12:

$$\begin{bmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_A \\ V_B \\ V_C \end{bmatrix} \quad (5.12)$$

A partir dos cálculos e com os resultados obtidos, realiza-se a validação dos relatórios do Edital do empreendimento em questão e define quantas transposições teremos ao longo do percurso de linha.

5.1.15 Diretriz Selecionada

Esse documento apresenta características da diretriz selecionada para o traçado por onde será atravessada a LT.

Quando é trabalhado com um projeto advindo de leilão de transmissão, nos documentos recebidos existe uma sugestão de traçado, mas nem sempre é a melhor opção, o que faz com que os projetistas de linha revisem e mostrem uma solução mais eficiente para o cliente.

Nesse estudo expositivo contém as previsões de travessias, a quantidade de vértices e um esquema do traçado definido.

5.1.16 Memorial Descritivo

Este documento, como é dito no próprio título, é um memorial da linha de transmissão, ou seja, um documento expositivo onde tem como objetivo apresentar os critérios e premissas adotadas para fazer a licitação do projeto da LT em questão e depende se o método de organização da projetista e se o cliente deseja esse documento.

Por ser um memorial, é composto por informações básicas em resumo do projeto como localização da LT (estado federativo/município onde a linha será implantada), tensão nominal, subestações envolvidas, dados das travessias existentes, dados climatológicos da região onde a LT irá atravessar, quais os cabos condutores e para-raios e etc.

5.2 PROJETO EXECUTIVO DE LINHAS AÉREAS DE TRANSMISSÃO.

A fase de projeto executivo, se inicia logo após a aprovação do projeto básico e está mais relacionado a parte de execução da obra. São documentos destinados ao campo de operação, isto é, para as pessoas de linha de montagem da LT. Visto isto, cada documento dessa etapa, se destina a expor de maneira prática o que foi definido pelo projeto básico.

A maneira como a projetista desenvolve o esquema de apresentação e nomenclatura de cada documento é de maneira particular contando que irá atender o exigido no edital de leilão para aquele empreendimento.

A finalidade desta fase de projeto de uma linha de transmissão é auxiliar na operação de construção da linha de transmissão em campo. Alguns desses documentos são: Critérios de Projeto de Locação de Estruturas, Planta e Perfil, Lista de Construção, Lista de Materiais, Tabela de Esticamento dos cabos condutores e para-raios, Detalhe de Saída da SE (subestação), Detalhe de Chegada na SE (subestação), Sinalização de Estruturas, Arranjos do Sistema de Aterramento, Aterramento e Seccionamento de Cercas, Tabela de Grampeamento Deslocado do Cabo Condutor, Corte Seletivo de Vegetação, Projeto do OPGW, Campanha de Investigação do Solo, Definição das Fundações, Projeto de Fundação e Memorial de Cálculo da Fundação, Projeto de Travessia e Memorial Descritivo da Travessia, Projeto de Acessos à Estruturas, Relatório de Sondagem Geotécnica do Solo, Relatório de Medição de Resistividade Elétrica do Solo, Esquema de Instalação do cabo OPGW, Diagrama de Carregamento das Estruturas, Silhueta e Diagramas de Carregamento das Estruturas, Planta do Traçado, Especificações Técnicas do: Cabo Condutor, Cabo Para-raios, cabos contrapesos, cabos OPGW, isoladores de vidro, cabo de estai, estruturas, ferragens.

Nem todos esses documentos irão compor o projeto executivo da projetista contratada. Pode ser o caso da própria transmissora e seus engenheiros elaborem alguns desses documentos. Entretanto existem estudos/documentos que são mais importantes e na maioria dos casos, fazem parte do escopo da projetista contratada.

5.2.1 Planta e Perfil com Locação das Estruturas

Esse documento é um desenho em escala da locação das estruturas com os cabos condutor e para-raios no terreno em perfil. Esse perfil vem a partir de um estudo de topografia realizado no trecho onde será implantada a linha de transmissão. O estudo representa as distâncias de segurança em todo o trajeto, representa os vãos, os obstáculos, as deflexões, os tipos de estruturas e suas posições geográficas e etc. Um exemplo de folha de perfil está disponível no Anexo B.

Esse documento será destinado posteriormente aos operadores em campo, para a verificação de dados para a construção da LT, então a fiel representação das informações pertinentes à mesma é fundamental. Os softwares mais comumente utilizados são o AutoCAD e o PLS-CADD.

5.2.2 Lista de Construção

Esse documento é de extrema importância para o projeto executivo pois nele consta cada detalhe construtivo da linha a ser implantada destinadas aos operadores de campo como por exemplo a identificação da estrutura, sua distância progressiva, sua posição geográfica, sua elevação com relação ao nível do mar, a deflexão (caso haja), seu tipo, suas alturas, o vão entre estruturas, no caso de travessias é descrito o ponto de cruzamento em coordenadas geográficas, dados dos pórticos das subestações envolvidas, comentários como onde terão emendas de cabos OPGW dentre outros.

5.2.3 Lista de Materiais

Essa lista presente na fase de projeto executivo é um documento muito importante pois, como o próprio nome diz, se trata da relação de materiais utilizados para a construção de toda a linha de transmissão enviado para a contratante para ser adquirido.

A lista de materiais é planejada com base em todo o projeto para abranger desde a quantidade de parafusos à quantidade de isoladores que serão utilizados.

O cuidado na elaboração da mesma é justamente para garantir a economia de materiais e de recursos financeiros para a contratante.

5.2.4 Planta do Traçado

Da mesma maneira que é representado a Planta e Perfil com Locação das Estruturas, assim é a apresentação da Planta do Traçado, isto é, um desenho em escala informando detalhes do traçado da LT em vista de planta.

São representados nesse documento os obstáculos, os vértices existentes, o tipo de estrutura, a faixa de segurança da LT, as travessias existentes. Os softwares mais utilizados para elaborar o documento é o AutoCAD e o PLS-CADD.

Um exemplo de Planta do Traçado está disponibilizado no Anexo C.

5.2.5 Projeto de Acessos às Estruturas

Um estudo de alta significância que compõe a fase de projeto executivo pois, em uma linha de transmissão deve-se pensar em momentos de manutenção que podem ocorrer em qualquer local da LT. Entretanto o percurso das linhas de transmissão nem sempre são localizados em ambientes de fácil acesso logo, o projeto de acessos às estruturas analisa onde serão abertas as entradas para o corredor da linha.

É um documento elaborado com auxílio da Planta de Traçado e o Google Earth para garantir o mínimo de desmatamento para esses acessos. Contém os pontos de acesso com suas respectivas localizações geográficas.

5.2.5 Projeto de Travessia

Projetos de travessia de uma linha de transmissão sobre uma rodovia ou sobre/sob uma linha existente são muito comuns em projetos de linha de transmissão e se trata de um projeto em AutoCAD para detalhar essa travessia com base na NBR 5422/85 na seção 11.

Na pratica essas travessias são destinadas a proprietários do objeto que será atravessado justamente para a aprovação da travessia proposta. Um projeto detalhado de travessia sobre rodovia está como anexo no Anexo D.

5.3 AS BUILT.

A fase final de um projeto de linha de transmissão de energia elétrica é denominada “As Built”, que do inglês significa “como construído”.

É um documento, ou até mesmo vários dependendo da organização do sistema de projetos da projetista, que toma nota de como foi construído a linha projetada com relação ao projeto elaborado.

Como a projetista está acompanhando a LT em fase de execução, os projetos executivos que estão de acordo são tomados como revisão “As Built”, ou seja, foi construído conforme o projeto executivo e básico. Caso haja alterações construtivas, é feito um novo documento referente àquela modificação com as mudanças realizadas em campo e enviado para a contratante.

As alterações em campo podem ser diversas, desde a alteração da entrada em uma subestação, alteração de uma estrutura no trecho do traçado da LT à mudança de posição da subestação que porventura esteja em processo construtivo.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do tema apresentado neste trabalho, os desafios encontrados na realização de projetos de linhas de transmissão são diversos e exige além dos conhecimentos técnicos de engenharia, a expertise profissional dos engenheiros projetistas que continuamente tem a necessidade de se desenvolver e aplicar novas técnicas.

Por mais que a transmissão de energia elétrica aparente ser um ramo consolidado, diariamente novos estudos de eficiência são apresentados trazendo consigo novas perspectivas para os projetos e aplicabilidade construtiva das linhas.

No Brasil, por conter grandes fontes primárias de geração, a necessidade de transmissão e estudos para manter a qualidade e eficiência do sistema é cada vez mais crescente. A cada nova fonte de geração de energia, a forma de transmissão e metodologias de aplicação se alteram, ou seja, novos materiais implementados, complexos de transmissão são elaborados para atender a demanda e etc. Um exemplo disso, são os parques eólicos, que cada vez mais são crescentes como fontes de geração de energia para o sistema nacional.

Diante desse cenário, para os projetos eletromecânicos de linhas de transmissão de energia, cada etapa do projeto é um desafio profissional de garantir a qualidade e bom desempenho ao cliente e simultaneamente um desafio pessoal, que estimula o projetista a se desenvolver e buscar novas técnicas para trazer o diferencial no mercado de trabalho.

Como cada uma dessas etapas tem sua complexidade de estudo e aplicação, para sugestão de trabalhos futuros considero o aprofundamento dos estudos contidos neste trabalho como por exemplo, o estudo de faixa de segurança entre linhas paralelas, influência entre velocidades e pressões de vento de determinada região na determinação de ferragens, isoladores e tipificação de estruturas na LT.

REFERÊNCIAS

ABNT, NBR. **5422: Projetos de Linhas Aéreas de Transmissão de Energia Elétrica**. Norma Técnica. Fevereiro de 1985.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Cálculo Tarifário e Metodologia**. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/calculo-tarifario-e-metodologia/-/asset_publisher/6pqBPPJq59Ts/content/receita-anual-permitida-rap/654800?inheritRedirect=false>. Acesso em: 05 fev 2020;

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Leilões de Transmissão**. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/transmissao4>>. Acesso em: 05 fev 2020;

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Contratos de Concessão**. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/contratos-de-transmissao>>. Acesso em: 06 fev 2020;

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Manuais e Procedimentos**. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/manuais-e-procedimentos>>. Acesso em: 06 fev 2020;

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Submódulo 9.8 - Metodologia de cálculo de preço teto da Receita Anual Permitida (RAP) dos leilões de concessão de transmissão de energia elétrica**. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Subm%c3%bdulo%209.8_V0.pdf>. Acesso em: 16 fev 2020;

ALUBAR. **Catálogo Alubar**. Disponível em: <https://www.alubar.net.br/img/site/arquivo/Cat_Tec_Alubar_Aluminio_2015.pdf>. Acesso em: 10 fev 2020;

ALVES, Raphael Barbosa. **Implantação de Linhas de Transmissão: Do Leilão à Operação Comercial**. Agosto, 2017. P. 63. Monografia – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Disponível em:

<<http://www.monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10022649.pdf>>. Acesso em: 02 mar 2020;

BEZERRA, Flavius Vinicius Caetano. **Projeto Eletromecânico de Linhas Aéreas de Transmissão de Extra Alta Tensão. Ano de apresentação.** Novembro, 2010. P. 89. Monografia – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10000515.pdf>>. Acesso em: 02 mar 2020;

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **O Ministério.** Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/acesso-a-informacao/institucional/o-ministerio>>. Acesso em: 12 fev 2020;

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Leilões de Transmissão.** Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/leiloes-de-energia/leiloes-de-transmissao>>. Acesso em: 15 fev 2020;

ELETRONET. **Você sabe o que é um cabo OPGW e como a Eletronet transporta dados por meio dele?** Disponível em: <<https://eletronet.com/voce-sabe-o-que-e-um-cabo-opgw-e-como-a-eletronet-transporta-dados-por-meio-dele/>>. Acesso em: 6 fev 2020;

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Quem somos.** Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/a-epe/quem-somos>>. Acesso em: 15 fev 2020;

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **O que fazemos.** Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/a-epe/o-que-fazemos>>. Acesso em: 15 fev 2020;

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Planejamento Energético.** Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/areas-de-atuacao/planejamento-energetico>>. Acesso em: 16 fev 2020;

FUCHS, Rubens Dario. et al. **Projetos Mecânicos das Linhas Aéreas de Transmissão.** 2ª Edição. São Paulo - SP: Editora Edgard Blucher LTDA, 1992.

IEC, 60826: **Design criteria of overhead transmission lines**. 3ª edição. África do Sul, Julho de 2003.

MENEZES, Victor Prangiel. **Linhas de Transmissão de Energia Elétrica: Aspectos Técnicos, Orçamentários e Construtivos**. Agosto, 2015. P. 87. Monografia – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10015383.pdf>>. Acesso em: 02 mar 2020;

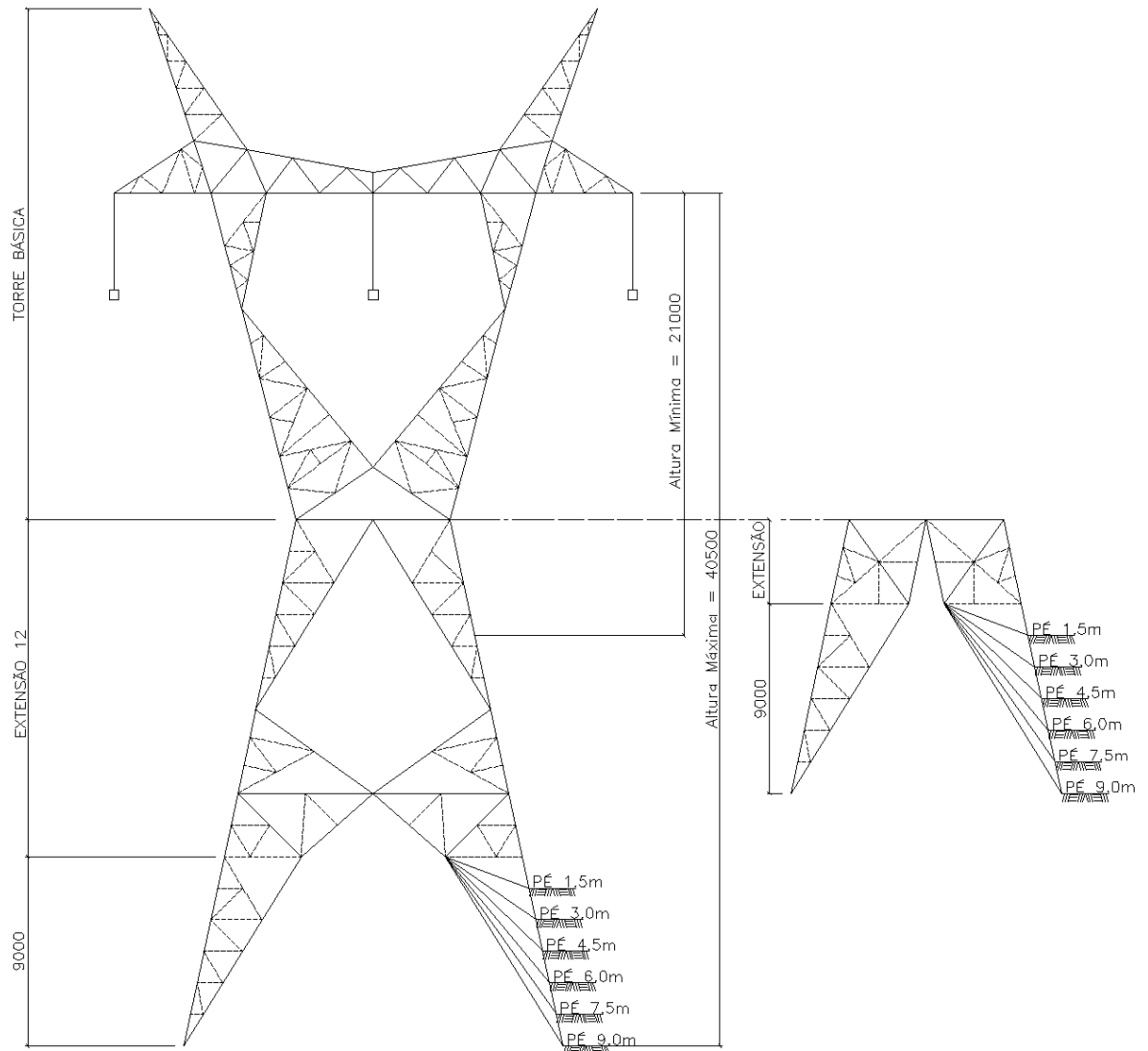
OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **O que é ONS**. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-ons/o-que-e-ons>>. Acesso em: 18 fev 2020;

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **O que é SIN**. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-que-e-o-sin>>. Acesso em: 18 fev 2020;

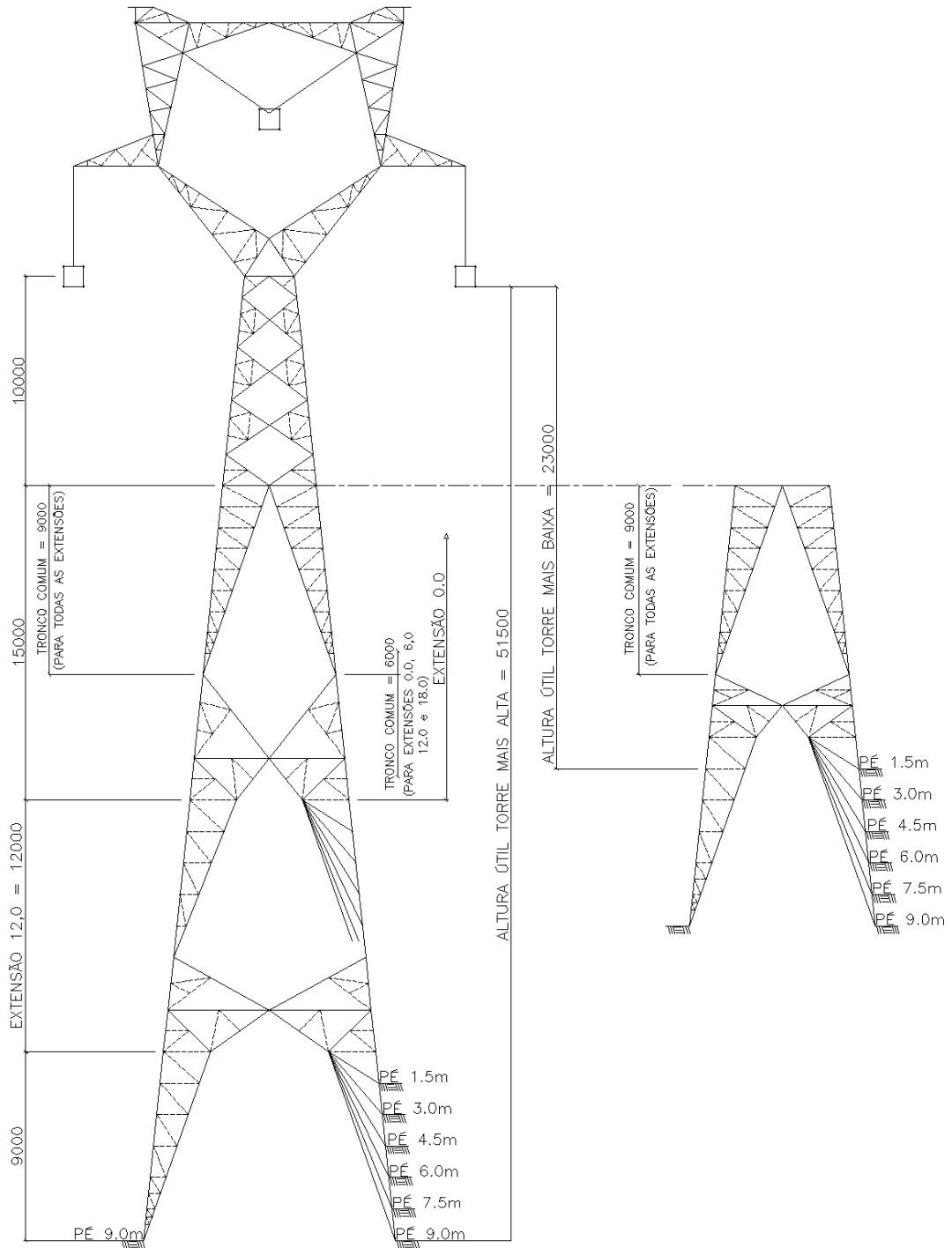
OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **Submódulo 2.4 - Requisitos mínimos para linhas de transmissão aéreas**. Disponível em: <http://www.ons.org.br/%2FProcedimentosDeRede%2FM%C3%B3dulo%202%2FSu%202.4%2FSubm%C3%B3dulo%202.4_Rev_2.0.pdf>. Acesso em: 20 fev 2020;

ANEXO A – EXEMPLOS DE ESTRUTURAS

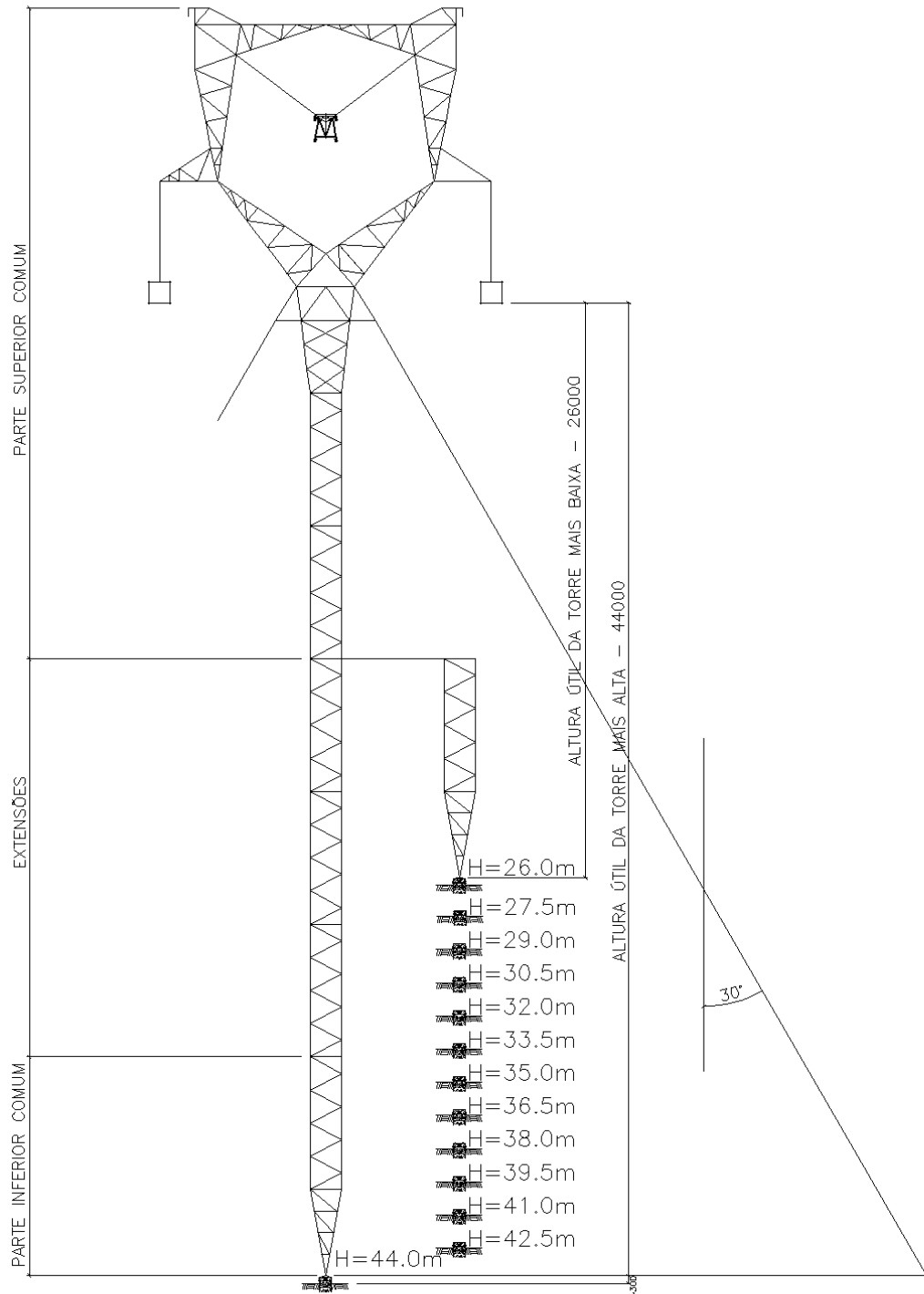
ESTRUTURA DE ANCORAGEM AUTOPORTANTE



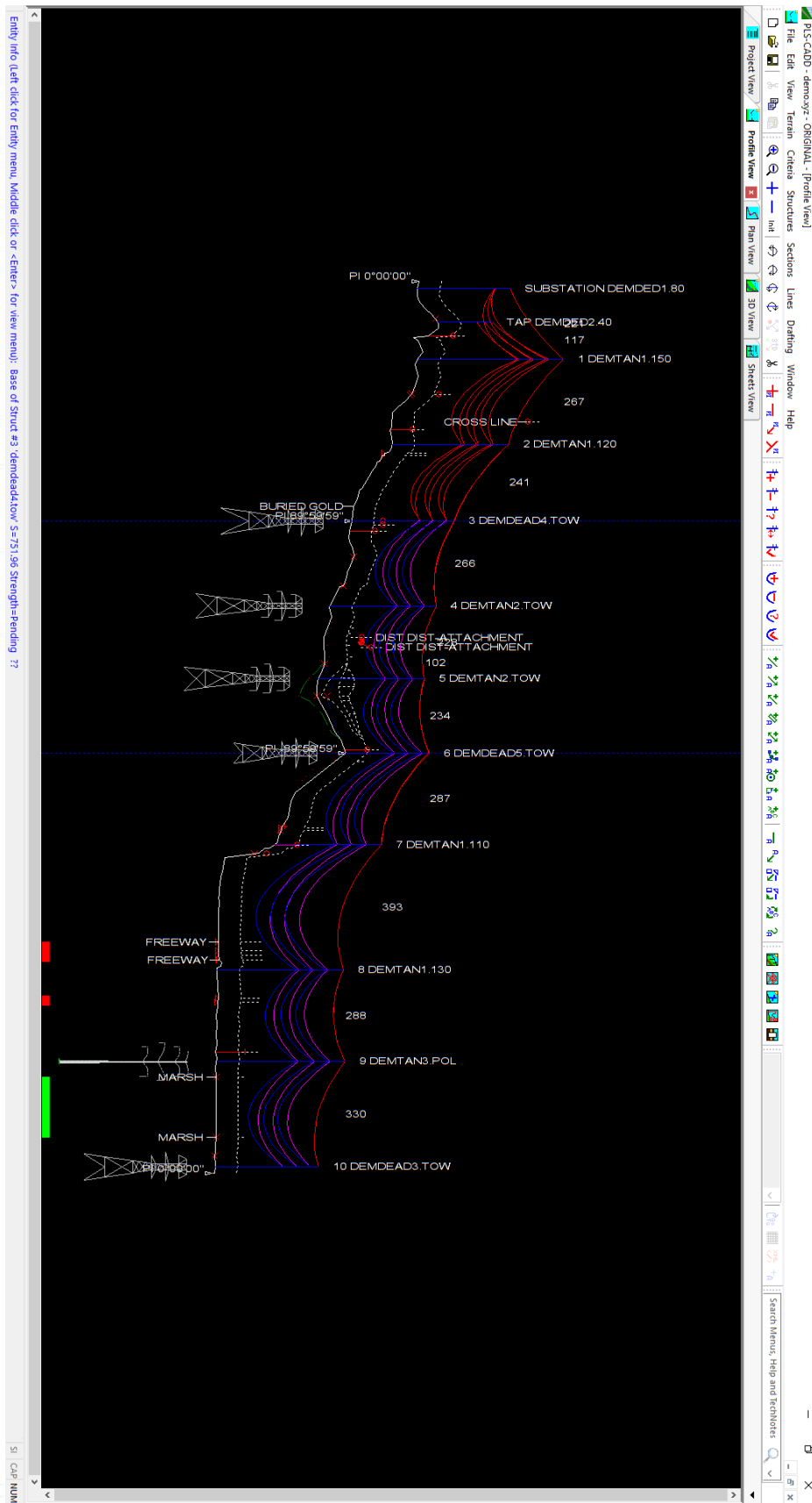
ESTRUTURA DE SUSPENSÃO AUTOPORTANTE



ESTRUTURA DE SUSPENSÃO ESTAIADA



ANEXO B – EXEMPLO DE PERFIL COM LOCAÇÃO DAS ESTRUTURAS NA TELA DO PLS-CADD



ANEXO D – PROJETO DE TRAVESSIA SOBRE RODOVIA

