

CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ
FLÁVIA STEVENS CHICOSKI

ASPECTOS CONSTRUTIVOS DE LINHAS DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM
CORRENTE ALTERNADA

CASCATEL-PR
2018

CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ
FLÁVIA STEVENS CHICOSKI

ASPECTOS CONSTRUTIVOS DE LINHAS DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA
ELÉTRICA EM CORRENTE ALTERNADA

Trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia Elétrica, do Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Prof. Orientador: Ms. Engenheiro Eletricista
Vânio de Maia

CASCADEL-PR
2018

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Dirce e Arnildo e a minha irmã, Fabíola

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida e saúde para concluir minha graduação e este trabalho.

Agradeço a minha mãe, Dirce, pelo apoio incondicional e por todas as vezes que me lembrou que tudo ia ficar bem.

Ao meu pai, Arnildo, por sempre estar do meu lado e fazer tudo ao seu alcance para minha felicidade.

A minha irmã por me apoiar nas minhas decisões, pela amizade e por sempre ser ouvidos para qualquer conversa.

Ao meu namorado, Paulo, pelo apoio, suporte, amor e felicidade.

A minha amiga, Alessandra, pelas longas conversas, apoio, suporte, amizade, palavras de conforto, risadas e por ter sido imprescindível na conclusão deste trabalho.

Ao Professor Edson Andreoli, pois sem sua ajuda, apoio, colaboração e conhecimento, a elaboração e conclusão deste trabalho não seria possível.

Ao meu orientador, professor Vânio da Maia.

E a todos que de alguma maneira contribuíram para a elaboração deste trabalho ou foram parte da minha vida acadêmica.

EPÍGRAFE

“É sempre mais escuro antes de amanhecer. ”

Florence Welch.

RESUMO

Aumentar o acesso da população a energia elétrica em um país está relacionado ao desenvolvimento econômico e social deste, pois possibilita maior acesso a informação, assim como aumenta a capacidade de desenvolvimento da indústria neste país. No Brasil, o Sistema Elétrico é dividido em 4 regiões que são ligadas entre si, dando origem ao Sistema Interligado Nacional, responsável basicamente pela geração e transmissão unificada da energia elétrica, podendo ser considerado único em âmbito mundial. O Sistema Interligado Nacional é operado por empresas privadas, públicas e mistas, regularizado e fiscalizado pela Agência Nacional de Energia Elétrica e coordenado e controlado pela Operador Nacional do Sistema, que é responsável pelo planejamento da operação eletro energética, administração da transmissão, programação e operação em tempo real no âmbito do sistema interligado. A matriz energética brasileira possui predomínio de geração por parte de Usinas Hidrelétricas, que, na maioria das vezes são locadas em locais remotos e longe dos centros de carga e distribuição, sendo necessária a implantação e ampliação de linhas de transmissão, seja de curta, média ou longas distâncias, visando dar ou ampliar ao acesso da população de centros consumidores a Energia Elétrica. Este trabalho aborda e discute os aspectos técnicos e construtivos de Linhas de Transmissão Aéreas em corrente alternada, levando em conta os estudos de viabilidade, o estudo de projetos, abordando também questões relativas a parte executiva da obra. Vale salientar que não é escopo do presente trabalho elaborar o projeto, mas fazer um estudo teórico com base na literatura disponível sobre o assunto em questão.

Palavras-chave: linhas de transmissão, energia elétrica, aspectos construtivos;

ABSTRACT

Increasing the population's access to electric power in a country is related to its economic and social development, because allows more access to information, such as increases the capacity os industry development in this country. In Brazil, the Electric System is divided in 4 connected regions, which originated de Nacional Interconnected System, responsible for unified power generation and transmission, and it can be considered unique in a global scale. The Nacional Interconnected System is operated by private, public and combined companies and it is supervised by the Nacional Electric Power Agency and coordinated and controlled by the Nacional System Operator, which is responsible for all the planning of the electro-energetic operation, administration of power transmission, programming and operating in actual time in the interconnected system's context. The Brazilian energy matrix is mainly composed by hydroelectric power plants, which are mostly located far from comsuption and distribution centers, being necessary the implantation and expansion of transmission lines, being short, medium or long lengths, aiming to give the population and consuming centers access to electric energy. This paper approaches and discusses the technical and constructive aspects of overhead Transmission Lines in alternate current, taking into consideration the viability studies, project studies and approaching as well relative questions to the executive part of the works. It should be pointed out that is not the scope of this paper to elaborate project, but doing a theoretical study based on the available literature about the theme.

Key-words: transmission lines, electric energy, constructive aspects;

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa das linhas de transmissão do Brasil.....	11
Figura 2 - Locação topográfica de estrutura de uma linha de transmissão dentro de uma subestação	16
Figura 3 - Planta perfil de uma linha de transmissão locada na região oeste do PR.	18
Figura 4 - Aspectos a serem considerados para definir a largura da faixa de servidão.....	19
Figura 5 - Exemplo de traçado de linha de transmissão.....	21
Figura 6 - Exemplos de torres de transmissão autoportantes.	24
Figura 7 - Exemplo de torre estaiada.	24
Figura 8 - torre autoportante em fase final de montagem, com atividade de revisão sendo executada.	26
Figura 9 - Exemplo de fundação tipo tubulão.....	29
Figura 10 - Fundação do tipo sapata.	30
Figura 11 - Exemplo de relatório gerado pelo software TEMPCOND.....	35
Figura 12 - flecha do cabo em um vão	36
Figura 13 - Exemplo de relatório gerado pelo FLECAE.	38
Figura 14 - lançamento de cabos condutores em linha de transmissão através da utilização de guincho.	39
Figura 15 - exemplo de praça de lançamento de cabos.....	40
Figura 16 - grampo do tipo concha.	41
Figura 17 - atividade de regulagem e grampeamento de cabos sendo executadas durante a montagem de uma linha de transmissão.....	42
Figura 18 - exemplos de espaçadores-amortecedores.	42
Figura 19 - cadeias de isoladores em suspensão em formato de “T” instaladas em torre de transmissão.	44
Figura 20 - cadeias de isoladores de ancoragem instaladas em torre de linha de transmissão ainda em processo construtivo.....	44
Figura 21 - cadeia de isoladores do tipo disco.	45
Figura 22 - cadeia de isoladores de ancoragem.....	46
Figura 23 - Isoladores concha-bola atendendo a norma ANSI C29.2, de porcelana e vidro.	47
Figura 24 - Esfera sinalizadora.	50
Figura 25 - altura definida pela NBR 6535 para pintura dos suportes de LTs.....	51
Figura 26 - Sinalização de segurança em torres estaiadas definida para uma LT situada na região oeste do estado do Paraná.....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Esforços a serem suportados pelos principais tipos de torres de transmissão.....	23
Tabela 2 - Volumes relativos a fundações do tipo tubulação.....	28
Tabela 3 - Volumes relativos a fundações do tipo sapata.	29
Tabela 4 - Comparação entre os principais tipos de fundação utilizados em linhas de transmissão....	31
Tabela 5 - Dados meteorológicos para dimensionamento de condutor de uma linha de transmissão..	33
Tabela 6 - Dados meteorológicos considerados para dimensionamento de condutor de uma linha de transmissão.....	34
Tabela 7 - Padrão de cores definido pela NBR 6535 no anexo A, para a sinalização de LTs.....	50

LISTA DE EQUAÇÕES

EQUAÇÃO 1 - Cálculo da largura da faixa de servidão.....	17
EQUAÇÃO 2 - Cálculo do ângulo de balanço dos cabos	18

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agencia Nacional de Energia Elétrica
SIN	Sistema Interligado Nacional
LT	Linha de Transmissão
NOS	Operador Nacional do Sistema

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	HISTÓRICO	13
3	LOCAÇÃO DAS ESTRUTURAS.....	16
4	DEFINIÇÃO DE TRAÇADO	17
5	DEFINIÇÃO DO TIPO DE TORRE IDEAL.....	22
5.1	Montagem de torres.....	25
6	TIPO DE FUNDAÇÃO	27
7	TIPOS DE CABOS.....	32
7.1	Temperatura dos cabos.....	32
7.2	Flecha máxima	36
8	LANÇAMENTO DE CABOS	39
8.1	Grampeamento dos Cabos.....	40
9	ISOLADORES.....	43
9.1	Tipo de Isolador Ideal.....	46
10	SINALIZAÇÃO DE SEGURANÇA EM LINHAS DE TRANSMISSÃO	49
11	CONCLUSÃO	53
12	REFERÊNCIAS	54

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento social e econômico de um país está diretamente relacionado com a situação do setor elétrico do mesmo, pois dependemos da energia elétrica para desenvolver e utilizar novas tecnologias, entre outras aplicações indispensáveis ao desenvolvimento a sociedade moderna. Devido ao crescimento constante na demanda por energia elétrica, torna-se necessário aumentar a oferta e investir na infraestrutura necessária para suprir esta demanda (MENEZES, 2015).

O Brasil possui amplo potencial hídrico, pois possui 12 bacias hidrográficas, além de uma das mais vastas e diversificadas redes fluviais do mundo, sendo o maior potencial hídrico do planeta. Além disso, o país possui vasta extensão territorial, cerca de 8,5 mil km², o que torna possível investir e diversificar a matriz energética brasileira a partir de fontes de geração de energia por fontes renováveis.

A capacidade de geração de energia elétrica no Brasil chegou a quase 153 GW em junho de 2017, aproximadamente 7,9 GW a mais do que em junho do ano anterior. Em maio de 2017, a geração por fonte hidráulica correspondeu a mais de 72% do total gerado no país. No mesmo ano, a expansão de linhas de transmissão de energia elétrica totalizou 6.130 km, ultrapassando em quase 75% o previsto e totalizando 4.249 km de linhas de transmissão que entraram em operação e 8.613 MVA de transformação na Rede Básica. Para 2018, está prevista a expansão de linhas de transmissão em 3.262 km (ONS).

Em 15 de dezembro de 2017, a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) realizou o leilão de 11 lotes de transmissão, que correspondem a 10.416 km de linhas de transmissão e 4.919 MVA de transformação. A expansão das linhas de transmissão se torna de grande necessidade, pois devido ao grande potencial hidráulico do país, muitas vezes estas usinas são construídas em locais remotos e distantes dos grandes centros de carga, visando aproveitar da melhor maneira o potencial de geração das bacias hidrográficas. A partir disso, torna-se necessário a construção e otimização das linhas transmissão de energia elétrica, visando reduzir custos e perdas na transmissão dessa energia da fonte de geração para os centros de carga (ANEEL).

A rede de transmissão de energia brasileira é operada pelo SIN (Sistema Interligado Nacional), responsável por conectar todos os quatro subsistemas elétricos brasileiros: Sul, Sudeste/Centro-Oeste, Nordeste e a maior parte da região Norte, e esta vasta malha de transmissão brasileira atingiu, em 2016, 134.765 km de extensão (Figura 1), estando em constante expansão. Esta interligação do sistema torna possível a transferência de energia entre

estes subsistemas, permitindo atender, com segurança, a demanda de todas regiões elétricas do país. O SIN visa aproveitar a energia elétrica gerada no país da melhor maneira, por isso, a construção de linhas de transmissão não é uma tarefa livre no Brasil. (ONS - Operador Nacional do Sistema).



Figura 1 - Mapa das linhas de transmissão do Brasil.
Fonte: (ONS, 2018)

Construir uma linha de transmissão demanda investimento e estudos assíduos de viabilidade, não só técnica, como econômica pois construir uma linha de transmissão exige grande investimento financeiro, desde sua fase de projeto, até sua conclusão e comissionamento, além disso, após a finalização das obras, estas linhas necessitam ser operadas e receber eventuais manutenções.

A implantação de uma linha de transmissão, no Brasil, exige uma série de documentações junto aos órgãos governamentais. Esta é uma tarefa difícil, pois exige grandes esforços em todas as etapas de obra, desde o processo de licenciamento ambiental, passando pelo estudo do traçado, estudos de viabilidade, planejamento, projeto da linha de transmissão, procura por mão de obra especializada, para que só então seja possível iniciar as obras de uma LT (Linha de Transmissão). Cada aspecto da obra demanda um planejamento efetivo por parte do responsável pela construção da LT, já que a mesma é repleta de dificuldades, tanto por parte do licenciamento necessário para a instalação de cada torre da LT, como eventuais condições ambientais adversas, sempre visando a otimização dos custos e o cumprimento de prazos.

Primeiro, será apresentado um breve histórico do setor eletroenergético brasileiro, visando mostrar como se deu a expansão deste setor desde o século XIX até os dias atuais. Em seguida, serão discutidos os aspectos construtivos de linhas de transmissão de energia elétrica, tais como locação das estruturas, definição do traçado, tipos de fundação, definição do tipo de torre ideal, tipos de cabos e isoladores.

2 HISTÓRICO

Ao final do século XIX, a economia do Brasil estava voltada a agricultura, sendo a participação da energia elétrica pouco relevante. No ano de 1883, consta que o Brasil chegou a ter a linha de transmissão de energia elétrica mais longa do mundo, a primeira construída no país, na cidade de Diamantina (MG), com 2 km de extensão, aproximadamente (MENEZES, 2015).

Os primeiros investimentos para a instalação de companhias de energia elétrica no Brasil aconteceram por volta do início do século XX, através do investimento de capitais estrangeiros. Nesta época, a economia brasileira estava voltada a industrialização e, com o crescimento da indústria, a demanda por energia elétrica também cresceu, aumentando o investimento na construção de usinas hidrelétricas. Estas usinas estavam geralmente próximas a regiões de atividade industrial e representavam, na época, aproximadamente 80% da potência instalada no país, em uma época na qual a tendência mundial era baseada em usinas termoelétricas a base de carvão, a predominância brasileira já era de hidroeletricidade (CEMIG).

Em 1934, foi promulgado o Código das Águas, atribuindo a União o poder de conceder e autorizar o aproveitamento da energia produzida por usinas hidrelétricas e de outras fontes para aproveitamento da indústria, incorporando assim todos os recursos hídricos ao patrimônio da União. Em 1939, foi criado o CNAE (Conselho Nacional das Águas) com a finalidade de administrar e regulamentar o suprimento e tarifas referentes a energia elétrica no país (ANEEL).

Após a Segunda Guerra Mundial, devido ao processo de urbanização das principais cidades brasileiras, a demanda de energia elétrica cresceu, ultrapassando a oferta e ocasionando o racionamento de energia elétrica destas cidades. Esta elevada demanda forçou o aumento de investimento na construção de novas usinas hidrelétricas. Ainda, nesta época, foram fundadas a CHESF - Companhia Hidroelétrica do São Francisco, no Rio de Janeiro, sendo a primeira empresa de eletricidade de âmbito federal, e a Cemig - na época, Centrais Elétricas de Minas Gerais e, atualmente denominada Companhia Energética de Minas Gerais S/A. No final dos anos 50, entrou em operação a primeira grande usina hidroelétrica construída no Rio São Francisco, pertencente a CHESF, a Usina Hidrelétrica Paulo Afonso I. Com a crise energética na região sudeste devido ao processo de urbanização e da grande demanda, foi criada a Central Elétrica de Furnas S.A., para que o potencial hidroelétrico do Rio Grande pudesse ser aproveitado para solucionar esta crise energética (CEMIG).

No início dos anos 60, com o país sob o comando de Juscelino Kubitschek com sua política desenvolvimentista e o Plano de Metas, foi criado o MME - Ministério das Minas e Energia. Em 1962 foi criada a Eletrobrás, visando coordenar o setor de energia elétrica do país. Posteriormente, entrou em operação a maior usina hidrelétrica do país, na época, a Usina Hidrelétrica de Furnas. Ainda, em meados dos anos 60, foi criado o Departamento Nacional das Águas e Energia Elétrica - DNAEE, responsável pelo planejamento, coordenação e execução dos estudos hidrológicos em todo o território nacional, além da supervisão, fiscalização e controle dos serviços de eletricidade. Nesta época, foi adotado o plano nacional de unificação da frequência em 60 Hz, por recomendação do CNAEE - Conselho Nacional das Águas e Energia Elétrica (CEMIG).

Em 1975 foram criados o CODI - Comitê de Distribuição da Região Sul e Sudeste e o CCON - Comitê Coordenador de Operação do Norte/Nordeste. Em 1979, a Light Serviços de Eletricidade S.A. foi nacionalizada, após 80 anos sob controle estrangeiro. No mesmo ano, entrou em operação a Usina Hidrelétrica Sobradinho, responsável pelo aproveitamento múltiplo do maior reservatório do Brasil (CEMIG).

Em 1984, entrou em operação a Usina Hidrelétrica Tucuruí, pertencente a Eletronorte, sendo a primeira hidrelétrica de grande porte construída na Amazônia. Ainda, foi concluída a primeira parte do sistema de transmissão de energia Norte-Nordeste, permitindo que a energia elétrica produzida na bacia amazônica fosse transferida para a região nordeste. No mesmo ano, entrou em operação a maior usina hidrelétrica do mundo, na época, a Usina Hidrelétrica de Itaipu. Em 1985, foi constituído o PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, tendo como objetivo incentivar a racionalização do uso da energia Elétrica, no mesmo ano, entrou em operação a Usina Termo Nuclear Angra I, em parceria com a Alemanha. Devido a necessidade da transferência da energia elétrica gerada pela usina de Itaipu, em 1986 entrou em operação o sistema de transmissão Sul-Sudeste, o mais extenso da América do Sul, transferindo a energia elétrica de Itaipu para a região Sudeste (CEMIG).

Já na década de 1990, no ano de 1996 foi criada a ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica, vinculada ao Ministério das Minas e Energia, com finalidade de regular e fiscalizar a produção, transmissão e comercialização da energia elétrica no Brasil (ANEEL).

Apenas em 2001, a ANEEL estabeleceu de forma atualizada e consolidada as disposições relativas a conformidade dos níveis de tensão de energia elétrica em regime permanente. Entre os anos de 2001 e 2002 houve o racionamento de energia elétrica, causando grande insatisfação por parte dos consumidores, direcionando as preocupações a situação da geração e transmissão a curto e medio prazo no país. As concessionárias foram bastante afetadas

com o racionamento devido a uma mudança de comportamento por parte dos consumidores na demanda de energia, tendo suas projeções de caixa afetadas, pois a política de investimentos no setor ficou comprometidas, já que pelo aumento da tarifa imposto pelo racionamento, as indústrias tornaram-se auto-suficientes em energia. Para recompor-se, as empresas do setor elétrico revisaram as tarifas, porém não obtiveram êxito, apesar disso, equilibraram seu fluxo de caixa a médio prazo (ANEEL) (MENEZES, 2015).

Esta crise nas empresas do setor elétrico se deu pela redução da demanda e por seus passivos serem cotados em dólar. Buscando combater a elevação dos preços na economia, o Ministério da Fazenda controlou as tarifas de energia. Devido a isso, para que o setor fosse reequilibrado, algumas medidas tiveram que ser tomadas, como a busca de soluções dos administradores destas empresas juntamente com o Ministério de Minas e Energia para estimular novos investimentos no setor, resultando na melhora do perfil da dívida destas empresas.

Desde 2001, o governo passou a discutir uma reforma do setor elétrico brasileiro, estudando modelos e analisando propostas para servirem de base para este Novo Modelo para o setor. O novo modelo foi chamado de Modelo de POOL. Esta nova proposta baseia-se, basicamente, na competição de mercado, mantendo foco na remoção dos principais riscos focando a inovação tecnológica e gerencial.

Em 2012, a ANEEL estabeleceu a Resolução número 482, estabelecendo as condições gerais para acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica

3 LOCAÇÃO DAS ESTRUTURAS

O projeto das estruturas é feito, por meio de softwares, como o PLS-CADD, por exemplo. Estes softwares exigem a montagem de um banco de dados, que deve ser composto por: códigos utilizados nos levantamentos topográficos, critérios de projeto da LT, geometria das estruturas, características mecânicas dos cabos e distância de segurança consideradas em projeto. Estes parâmetros consideram ruas, rodovias, ferrovias, cruzamentos, telhados, além de outras linhas de transmissão e distribuição de energia elétrica. (ODEBRECHT)



Figura 2 - Locação topográfica de estrutura de uma linha de transmissão dentro de uma subestação

Fonte: (ODEBRECHT, 2018)

Após o processo de desenvolvimento do projeto das estruturas, dá-se início a etapa de locação das estruturas de uma linha de transmissão em campo, atividade que pode ser visualizada na Figura 2. Para tanto, alguns documentos são de extrema relevância, a saber: planta do traçado, perfil e planta compacta da LT com as estruturas plotadas e os arranjos de linhas de transmissão e de cada subestação envolvida. Segundo (CEMIG), o início da locação é executado mediante o alinhamento do marco central e em seguida os marcos auxiliares, conforme levantamento topográfico da linha de transmissão feito previamente.

4 DEFINIÇÃO DE TRAÇADO

A definição do traçado de uma linha de transmissão é um dos primeiros passos a serem dados para iniciar uma obra deste porte. O traçado da LT consiste no caminho que a mesma vai percorrer, desde a subestação inicial até o final da linha, e sua otimização é baseada em estudos, visando evitar impactos desnecessários e construir a linha de transmissão de tal maneira que os impactos causados sejam equivalentes às vantagens relacionadas à construção da mesma.

Para definir o traçado de uma linha de transmissão, primeiramente deve-se analisar qual o caminho que a mesma deve percorrer, sua subestação de início e fim, para que só então seja possível efetuar um estudo eficiente definindo onde deve-se alocar a LT. Estes aspectos costumam ser definidos em reuniões técnicas com equipes multidisciplinares envolvidas. Nestas reuniões, são definidos parâmetros básicos, como a tensão da LT, tipo de torre a ser utilizada, largura da faixa de servidão, entre outros. Em reuniões técnicas posteriores, tais parâmetros são analisados e consolidados de acordo com as informações provenientes do trabalho das equipes envolvidas na elaboração do projeto. (ARAUJO, 2007)

De acordo com (OLIVEIRA, 2014), para definir aspectos relativos ao relevo que a linha de transmissão atravessará em seu traçado, é elaborada a planta perfil, responsável por representar obstáculos no caminho definido para o traçado, assim como as travessias e os limites de propriedades de fundiários cruzados pela LT. Um exemplo de planta perfil de uma linha de transmissão pode ser visualizada na figura a baixo, onde estão indicadas as estruturas da LT neste trecho, os cabos condutores e para-raios, a vegetação existente, representada em verde, os fundiários e o relevo do referido trecho. Definir estes aspectos na planta perfil é muito importante, pois ela facilita a visualização de informações que facilitam a posterior construção da linha de transmissão, como, por exemplo, locais onde será necessária a supressão de vegetação e onde o acesso às praças de montagem das torres será mais fácil ou onde haverá maior dificuldade para transporte de mão de obra e equipamentos.

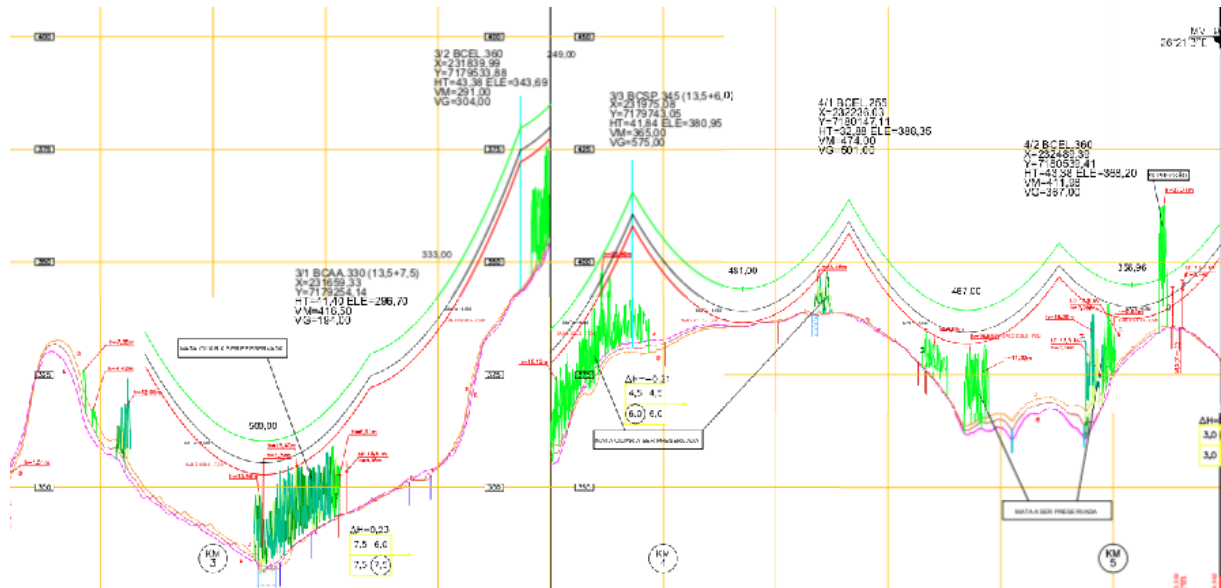


Figura 3 - Planta perfil de uma linha de transmissão locada na região oeste do PR.

Fonte: Odebrecht – documentos internos.

Para definir a largura ideal da faixa de servidão devem ser atendidos determinados critérios elétricos e mecânicos. Basicamente, a definição da largura da faixa de servidão de da através da Equação 1:

$$L = 2 \cdot (b + d + D) \quad (1)$$

Em que,

L = largura da faixa de servidão [m]

b = distância horizontal do eixo do suporte ao ponto de fixação do condutor mais afastado deste eixo [m]

d = soma das projeções horizontais das flechas dos condutores e do comprimento das cadeias de isoladores ($d_1 + d_2$) [m]

D = distância que considera os efeitos de rádio interferência e interferência telefônica em função do gradiente de tensão na superfície do condutor [m]

Na Figura 4 é possível visualizar quais são estes aspectos a serem considerados no cálculo da faixa de servidão de uma LT:

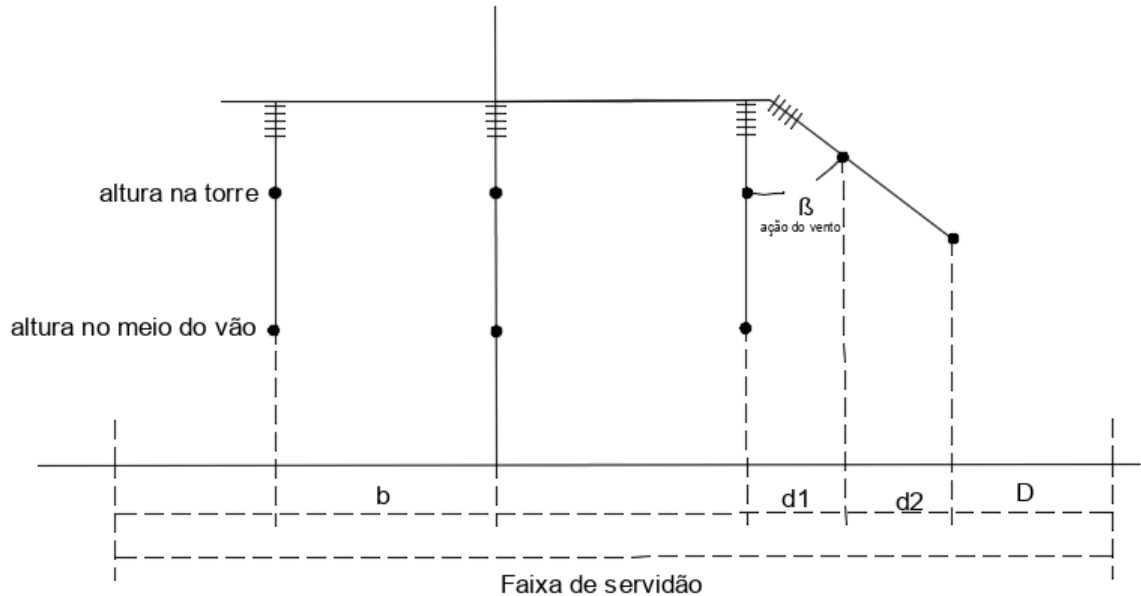


Figura 4 - Aspectos a serem considerados para definir a largura da faixa de servidão.
Fonte: Autoria Própria.

No que diz respeito a critérios mecânicos, deve ser verificado o balanço dos cabos sob a ação dos ventos com período mínimo de retorno de 10 anos, analisando questões a respeito de velocidade do vento e ângulo correspondente de balanço de cabos e cadeias de isoladores. O ângulo de balanço dos cabos pode ser calculado através da Equação (2):

$$Tg\beta = k \cdot \frac{(q_{od})}{(p \cdot (V/H))} \quad (2)$$

Em que,

q_0 = altitude média adotada

d = diâmetro do condutor

p = peso unitário do condutor

V/H = relação (vão de peso)/(vão de vento)

k = velocidade de vento considerada para as condições da região de locação da LT.

Já no que se trata de critérios elétricos, devem ser considerados os seguintes:

Gradiente superficial: deve ser limitado de maneira a garantir que os condutores e ferragens não venham a apresentar efeito corona visível para as condições climáticas da região em que a LT será instalada.

Rádio interferência: o limite estabelecido pela DENTEL (Departamento Nacional de Telecomunicações) de sinal e ruído deve ser igual ou superior a 24 dB nos limites da faixa de servidão

Ruído audível: sob chuva fina ou névoa, o ruído audível deve ser menor ou igual a 58 dB nos limites da faixa de servidão.

Campo elétrico: deve ser estabelecido na condição de carregamento máximo dos condutores, considerando os regimes de operação e emergência da LT. De acordo com a resolução normativa número 398 da ANEEL de 23 de março de 2010, o campo elétrico a um metro do solo, no limite da faixa de servidão deve ser igual ou inferior a 5 kV/m. Já no interior da faixa de servidão, não deve ser superior a 8,33 kV/m.

Campo magnético: assim como o campo elétrico, os limites devem ser estabelecidos considerando as condições de máximo carregamento dos condutores e os regimes de operação e emergência da LT. De acordo com a resolução normativa número 398 da ANEEL, o campo magnético no limite da faixa de servidão deve ser igual ou inferior a 67 A/m. Já no interior da faixa de servidão, não deve ser superior a 335 A/m.

A princípio, o trecho deve ser percorrido observando-se alguns fatores, como vértices, interferências, construções, edificações, uso do solo, benfeitorias, rios, matas, linhas existentes, travessias, canais de irrigação e variações de relevo que possam interferir na construção, tudo isso com intuito de minimizar alguns impactos causados pela implementação da LT como, por exemplo: questões de ordem fundiária, questões da própria construção, ambiental e de manutenção da LT. Todos estes aspectos devem ser exaustivamente detalhados, para posterior análise. (ODEBRECHT)

Em linhas gerais, são realizadas visitas em campo de todos os vértices da linha de transmissão e as praças onde devem ser alocadas as torres, fazendo análise destas praças, das interferências no percurso, tipologia de solo, alterações de relevo, condições de uso de solo, passagem sobre trechos com vegetação, entre outros aspectos relevantes para o estudo de definição do traçado. Ainda, são verificados os acessos existentes para adentrar o trecho da linha de transmissão, para que acessos desnecessários não sejam abertos posteriormente e os existentes possam ser bem aproveitados.

Posteriormente, elaborase o relatório de estudo de traçado, com fotos, croquis, plantas e arquivos de dados, do tipo do software Google Earth, relatando as passagens do traçado e as possibilidades de alteração do traçado, buscando otimizar o percurso proposto de acordo com as informações existentes, até que se chegue a proposta final de traçado.

A Figura 5 mostra um exemplo de traçado de uma linha de transmissão proveniente do software Google Earth. É interessante observar que é possível visualizar cada estrutura e o caminho que a LT percorrerá entre as subestações.

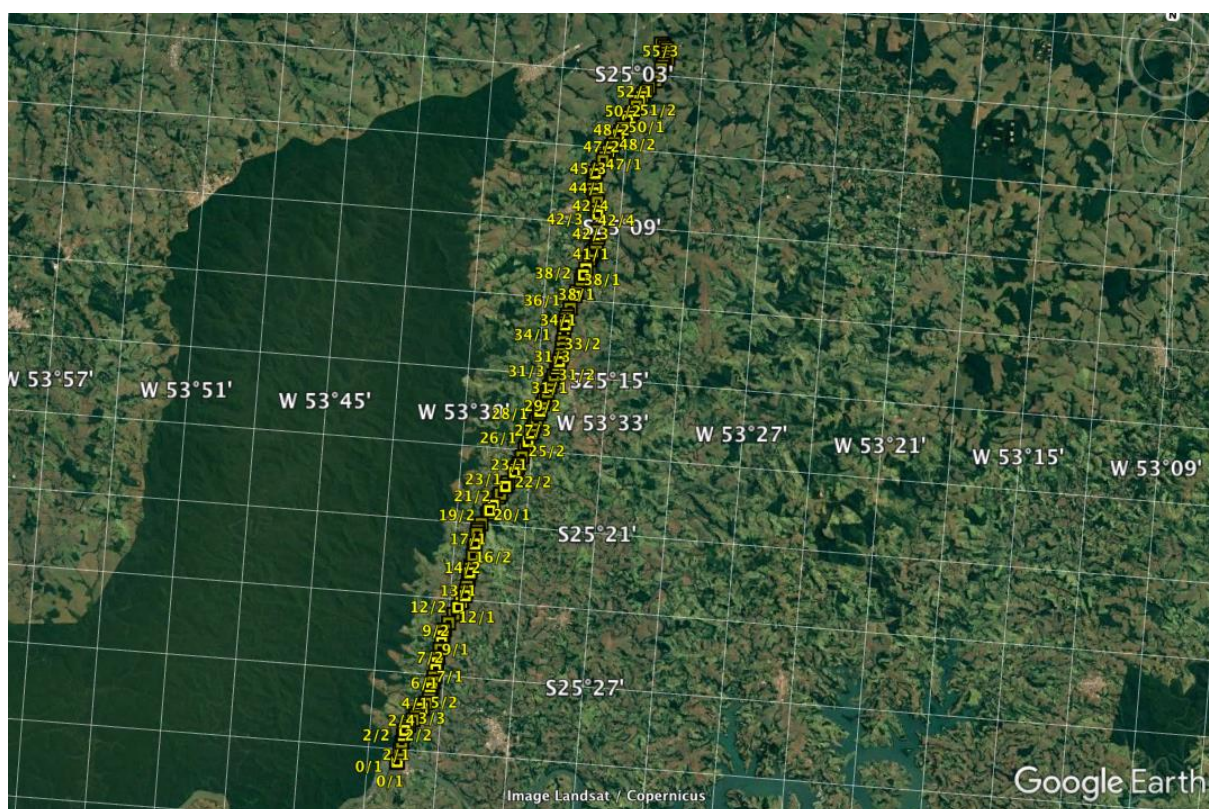


Figura 5 - Exemplo de traçado de linha de transmissão.
Fonte: Google Earth.

Para otimizar a elaboração do projeto de traçado da linha de transmissão, é possível utilizar plataformas on-line, do tipo web como o Google Earth. Por meio das imagens de satélite, pode-se analisar as diretrizes do corredor da linha, pois no banco de dados do programa ficam cadastradas informações importantes, como núcleos urbanos, obstáculos, travessias e tantos outros aspectos relevantes a elaboração do projeto. Dispondo deste tipo de recurso, torna-se possível fazer uma análise detalhada quanto a aspectos socioeconômicos, físico e bióticos, caracterizando estes aspectos para que os impactos socioambientais sejam os menores

possíveis. Além disso, torna-se possível uma redução significativa de custos e prazos, já que além de versátil este tipo de plataforma é de uso gratuito e irrestrito. (ARAUJO, 2007)

5 DEFINIÇÃO DO TIPO DE TORRE IDEAL

O propósito principal das torres em uma LT é sustentar os esforços mecânicos, tais como cabos condutores, para-raios, isoladores, cargas de vento e demais itens de segurança pertinentes (NBR 5422). Ainda, as torres de transmissão são responsáveis pela manutenção da distância de segurança entre os condutores, o solo, obstáculos ou distanciamentos mínimos entre toda parte energizada da LT. (FUCHS)

As torres de transmissão comumente são feitas a partir de estruturas treliçadas de aço galvanizado, o que se deve ao fato de possuírem baixo custo, baixo peso, alta resistência a corrosão e alta resistência mecânica. Além disso, estruturas treliçadas em aço galvanizado costumam ser utilizadas, pois a maioria dos problemas relativos a estrutura podem ser resolvidos facilmente, dado o fato de que estas estruturas podem ser projetadas, modificadas e fabricadas de maneira a atender as necessidades específicas em relação as cargas mecânicas que tais estruturas devem suportar. (FUCHS)

Para se definir o tipo de torre ideal a ser utilizado em uma LT, os principais aspectos a serem levados em consideração são a tensão da linha de transmissão, pois este parâmetro influencia diretamente no peso dos condutores e, portanto, nos esforços mecânicos a serem considerados, a quantidade de circuitos a serem suportados pela torre, o número de condutores por circuito, tipos de cadeias de isoladores, velocidade dos ventos na região a serem instaladas, entre outros. Existem estruturas padronizadas, que levam em consideração o ângulo da linha de transmissão, o vão médio e o vão de peso da LT, ainda, se a torre é de suspensão, ancoragem ou de transposição das fases da LT. Para casos em que nenhum destes tipos padrão de torres podem ser utilizados, deve-se partir para o projeto de um tipo especial de estrutura para atender as necessidades em questão. (FUCHS)

No que diz respeito a classificação de torres de linhas de transmissão, levam-se em consideração alguns critérios, como função estrutural, maneira que reagem as cargas, disposição dos condutores e números dos circuitos.

Quanto a função estrutural, as estruturas podem ser de suspensão, ancoragem, angulares e fim de linha, derivação e transposição de fases. As estruturas de suspensão em alinhamento em pequenas deflexões são projetadas para que resistam a esforços verticais, como

vento e peso dos condutores, isoladores e ferragens. As estruturas de ancoragem, por sua vez, podem ser dimensionadas para grandes deflexões e terminais ou para médias deflexões. No que se trata de estruturas de ancoragem para grandes deflexões ou terminais, são utilizadas em início ou fim das linhas de transmissão, enquanto as estruturas de ancoragem para médias deflexões são utilizadas no meio das linhas de transmissão, pois o esforço sobre elas é menor já que devem resistir apenas aos esforços decorrentes do tensionamento dos condutores durante sua montagem ou em caso de ruptura de algum deles, portanto, se tratam de estruturas menos robustas. As estruturas de transposição ou rotação de fase são estruturas especiais e são responsáveis por assegurar o equilíbrio eletromagnético da linha de transmissão, através da rotação de fases. Já as estruturas de derivação são responsáveis por alimentar um ramal ou utilizadas para efetuar sangrias nas linhas de transmissão, estas estruturas são projetadas especialmente para estes fins. (Aguilera, 2007)

No que se trata de função estrutural, os principais esforços a serem suportados pelos principais tipos de torres são resumidos na Tabela 1.

Tabela 1 - Esforços a serem suportados pelos principais tipos de torres de transmissão.

Tipos de Estruturas	Cargas a serem resistidas
Estruturas de Suspensão ou alinhamento reto	Normais horizontais, normais verticais, transversais,
Estruturas em ângulo	Normais horizontais, normais verticais, transversais, excepcionais
Estruturas de ancoragem	Normais horizontais, normais verticais, transversais, excepcionais

Fonte: Odebrecht – Documentos internos.

Quanto a forma de resistência das estruturas, as cargas que as mesmas são submetidas, basicamente consistem em: cargas axiais verticais, horizontais transversais e horizontais longitudinais. Já no que se trata do comportamento das estruturas mediante a estes três tipos de cargas, podemos dividi-las entre autoportantes e estaiadas. As torres autoportantes, exemplificadas pela Figura 6, são destinadas a suportar os maiores esforços relativos a resistência, já que este tipo de estrutura as solicitações são transmitidas diretamente a fundação da estrutura. As estruturas estaiadas, com exemplo mostrado na Figura 7, geralmente não são locadas onde necessita-se suportar grandes esforços pois neste tipo de estrutura, os esforços são distribuídos entre os tirantes, sendo absorvidos pelas ancoras e transmitidos ao solo e a outra parte transmitida axialmente pela estrutura em si.

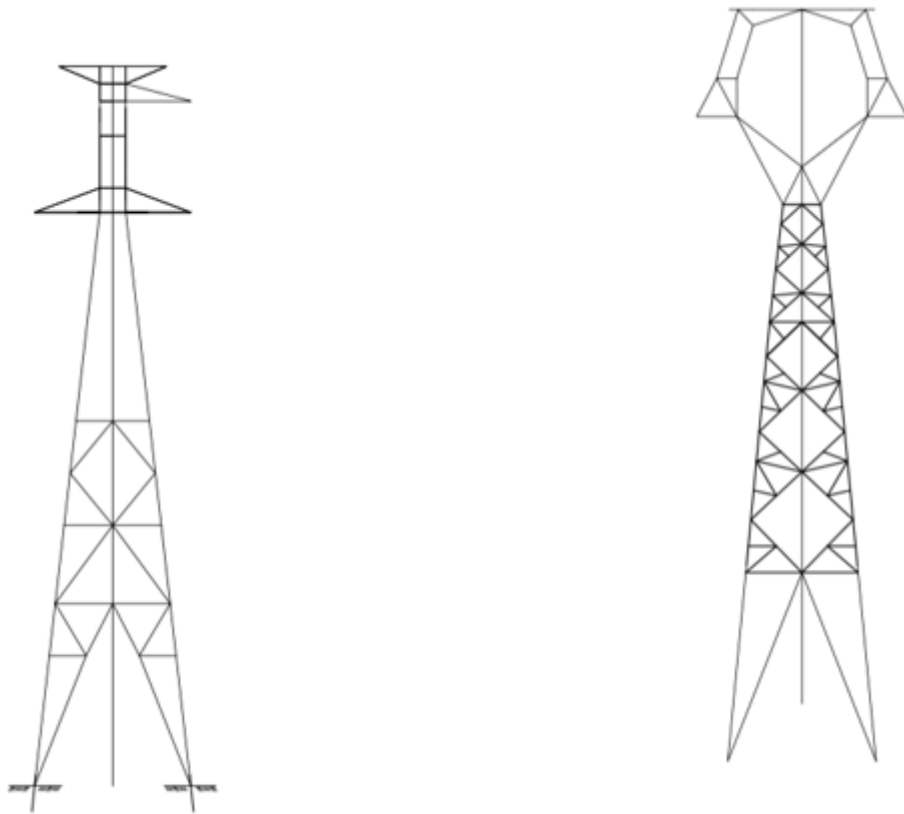


Figura 6 - Exemplos de torres de transmissão autoportantes.
Fonte: Odebrecht – Documentos internos.

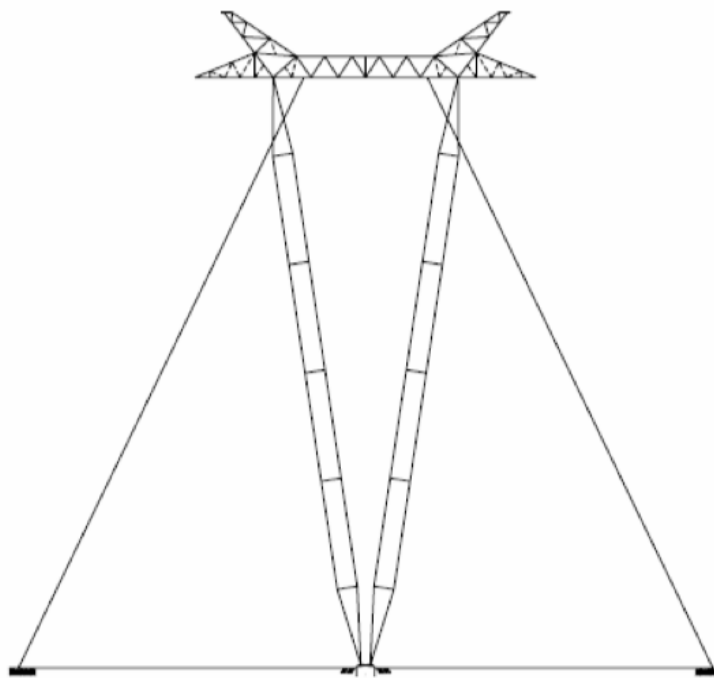


Figura 7 - Exemplo de torre estaiada.
Fonte: Odebrecht – Documentos internos.

5.1 Montagem de torres

A atividade de montagem de estruturas é realizada após a atividade de conclusão das fundações e é uma atividade completamente baseada em projeto, que, neste caso, serve como uma espécie de manual. Os passos referentes a montagem de estruturas citados neste capítulo são baseados no processo realizado na construção de uma linha de transmissão situada na região oeste do estado do Paraná, sendo este o processo realizado pela construtora responsável pelo empreendimento. O processo pode variar de acordo com o projeto da LT ou a maneira que cada construtora realiza este tipo de serviço.

Primeiramente, o material necessário para a montagem da estrutura é separado em canteiro, baseado em índices de mão de obra calculados para a construção de uma linha de transmissão situada na região oeste do paraná, esta atividade sendo realizada por grupos de 13 trabalhadores leva em torno de 7 horas para uma torre autoportante e 4,5 horas para uma torre estaiada. O tempo para executar a atividade pode variar, já que cada torre possui aspectos particulares, podendo ter mais material a ser separado do que outras. Todo o material a ser utilizado em cada tipo de torre é criteriosamente definido no projeto e lista de materiais, pois cada parafuso é especialmente dimensionado e não pode ser substituído, pois isso poderia ter consequências estruturais que impactariam no resultado final. Os parafusos geralmente são marcados para que não haja confusão durante o processo de separação do material.

Algumas torres podem ser pré-montadas em canteiro, como é o caso das torres estaiadas, que geralmente são estruturas menores. Algumas partes das estruturas são montadas no canteiro e depois transportadas a campo para conclusão da montagem.

Em seguida, o material é transportado a campo para a montagem da estrutura. Já em campo, algumas estruturas também podem passar pelo processo de pré montagem, como é o caso das estruturas estaiadas, que geralmente são montadas em solo e içadas através de guindaste para serem finalmente acopladas a fundação. No caso das estruturas autoportantes, geralmente apenas a parte superior da estrutura passa por pré-montagem, sendo os pés da torre já montados acoplados a fundação.

As torres são então montadas seguindo os critérios e passos definidos em projeto. Cada parafuso deve ter seu torque conferido para que não haja problemas estruturais. Após a finalização da montagem da estrutura já com a mesma posicionada em seu local final de instalação, os parafusos passam por uma conferência geral. Antes do lançamento dos cabos condutores na linha de transmissão, que geralmente é o próximo passo da montagem da linha ou antes de qualquer outra atividade ser realizada na estrutura, a mesma passa por uma conferência e revisão final de montagem como é o caso da estrutura apresentada na Figura 8, em fase final de montagem com esta atividade de revisão em fase de execução, feita por

trabalhadores que, geralmente, são especializados e treinados para executar apenas este tipo de atividade, garantido a precisão e segurança da montagem da estrutura.



Figura 8 - torre autoportante em fase final de montagem, com atividade de revisão sendo executada.

Fonte: Odebrecht – Documentos internos.

6 TIPO DE FUNDAÇÃO

Devido aos carregamentos suportados pelas torres em linhas de transmissão, parte importante do projeto é a análise do tipo de fundação adequada à torre em questão, já que esta tem grande participação no que se trata de garantir a segurança e solidez do projeto.

Como em uma linha de transmissão cada torre suporta esforços diferentes e tem características diferentes, o projeto de fundação também deve ser personalizado à cada torre, no que diz respeito as cargas a serem suportadas pela torre, características geotécnicas do terreno, escolha do tipo de torre ideal, dimensionamento da fundação e segurança do projeto.

Normalmente, o tipo de fundação é um dos últimos aspectos de projetos a serem definidos em uma linha de transmissão. Para se definir a fundação adequada a cada torre, deve ser feita a sondagem do terreno, visando determinar as características geotécnicas do local exato em que cada torre deve ser locada, tendo como base o projeto do traçado da LT, dado que, por possuírem muitos quilômetros de extensão, as características do terreno se alteram, assim como a característica de cada torre e de cada trecho da LT. Tendo em mãos o traçado final da LT e o projeto de locação das estruturas, ou seja, as principais variáveis de projeto, pode-se iniciar o dimensionamento das fundações das torres de transmissão, levando em consideração aspectos como esforços solicitantes, tipo das estruturas, ângulos, travessias, vãos, tipo de terreno, fenômenos naturais sobre as estruturas, entre outros (FUCHS).

Os tipos mais comuns de fundações utilizados em linhas de transmissão são: sapata, tubulão, fundação em estaca e ancoragem em rocha (FUCHS). Cada uma adequada aos aspectos particulares relativos a cada projeto.

A fundação mais comum é a do tipo tubulão, como a da Figura 9 que se trata de uma fundação profunda, vertical e cilíndrica, podendo ter base alargada ou não, com revestimento ou sem, podendo este revestimento ser de aço ou concreto (NBR 6122) e são largamente utilizadas por terem grande aplicabilidade e baixo custo. O baixo custo se dá ao baixo volume de escavação, baixo consumo de formas de concreto, além de não haver necessidade de reaterro e atender boa parte dos requisitos de projetos das torres. (ODEBRECHT)

Os volumes de cada fundação são definidos em projeto, porém, na Tabela 2 podemos ver os volumes relativos a alguns tipos de fundação do tipo tubulão projetados para uma linha de transmissão na região oeste do estado do paraná:

Tabela 2 - Volumes relativos a fundações do tipo tubulação.

Tipo de fundação	Volume de escavação (m³)	Volume de armação (kgf)	Volume de concreto (m³)
Tubulão com base alargada	3,32	171	3,75
Tubulão sem base alargada	1,73	94	1,85

Fonte: Odebrecht – Documentos internos.

Para executar estes tipos de fundação com os volumes apresentados na Tabela 2, deve ser obtidos os índices relativos a mão de obra em homem-hora, que significa a média de quantidade de trabalho executada por um homem em uma hora, chegando aos seguintes resultados: para uma fundação do tipo tubulão com base alargada, os índices de escavação, montagem de armação e lançamento de concreto são em Hh, sucessivamente, 19,27 Hh, 0,37 Hh e 17,06. Já para uma fundação sem base alargada, os índices de escavação, montagem de armação e lançamento de concreto são, sucessivamente, 36,99 Hh, 0,68 Hh e 34,59. Para este cálculo, são consideradas equipes com 8 homens, trabalhando por 8 horas. Os índices podem variar de acordo com a quantidade de homens por equipe, as condições climáticas para executar o serviço em campo e o tempo de trabalho das equipes em campo.

A fundação do tipo sapata, conforme exemplificada pela Figura 10, também é amplamente utilizada em linhas de transmissão. Se tratam de elementos de fundação superficial de concreto armado, de maneira que as tensões de tração a serem resistidas pela fundação não sejam aplicadas diretamente ao concreto, mas sim a armação metálica (NBR 6122). Desta maneira, este tipo de fundação aplica-se em linhas de transmissão quando o solo possui pouca profundidade e boa resistência (Chaves, 2004). A fundação do tipo sapata pode ter custo mais elevado dependendo da sua profundidade, pois necessita de reaterro. Em campo, quando se encontram dificuldades na escavação ou o solo não é exatamente o encontrado durante o processo de sondagem, é muito comum substituir a fundação do tipo sapata pela do tipo tubulão, devido a sua melhor aplicabilidade. (ODEBRECHT)

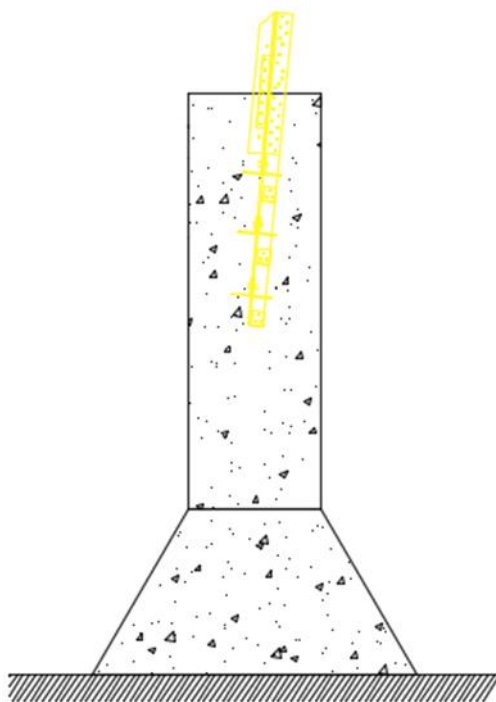
Na Tabela 3, é possível analisar os volumes de projeto calculados para fundações do tipo sapata, apesar de estes valores serem definidos para cada projeto particular, os volumes gerais são calculados previamente.

Tabela 3 - Volumes relativos a fundações do tipo sapata.

Tipo de fundação	Volume de escavação (m ³)	Volume de armação (kgf)	Volume de concreto (m ³)
Sapata	36,48	173	4,91
Sapata pré-moldada	15,29	150	2,23

Fonte: Odebrecht – Documentos internos.

Para executar estes tipos de fundação com estes volumes, são calculados os índices relativos a mão de obra, chegando aos seguintes resultados para a fundação do tipo sapata da Tabela 3, para as atividades de escavação, montagem de armação e lançamento de concreto, sucessivamente, 1,754 Hh, 0,36 Hh e 13,03 Hh. Já para a fundação do tipo sapata pré-moldada, os índices de escavação, montagem de armação e lançamento de concreto, sucessivamente, 4,18Hh, 0,42 Hh e 28,69 Hh. Para obter estes resultados, também são consideradas equipes de 8 homens, trabalhando por 8 horas.

**Figura 9** - Exemplo de fundação tipo tubulão.

Fonte: Odebrecht – Documentos internos.

Ainda, pode-se utilizar de fundações do tipo bloco ancorado em rocha, já que é muito comum que as torres estejam situadas em locais onde o topo rochoso é aflorado ou há pouca profundidade para escavação. Se tratam de blocos de concreto ancorados em rocha através de chumbadores de aço. (Chaves, 2004). Os blocos geralmente são pré-moldados e apenas transportados a campo, o que reduz o custo e diminui a quantidade de trabalho a ser executada

em campo, assim como, evita o transporte desnecessário de mão de obra, material e equipamentos.

Este tipo de fundação é dimensionado tanto para torres estaiadas, seja em sua base ou nos estais, quanto em torres autoportantes.

No que tange aos volumes relativos a armação e concreto, cada projeto possui volume particular, pois estes aspectos são relativos a sustentação que cada fundação deve fornecer para a torre em questão. Fundações do tipo tubulão possuem menores volumes de escavação, armação e concreto, ainda, é possível utilizar estruturas pré-moldadas em canteiro para este tipo de fundação, o que reduz ainda mais os custos, pois torna desnecessário o transporte de concreto e trabalhadores para execução do serviço. As fundações do tipo sapata possuem, em geral, maiores volumes de escavação, armação e concreto, pois, neste tipo de fundação a resistência deve ser maior, portanto, em casos gerais a armação deve ser mais reforçada se comparada a da fundação do tipo tubulão, além de o volume de concreto ser maior por se tratar de uma fundação maior. Ainda, a fundação do tipo sapata acaba tendo custo maior, pois o processo de armação e concretagem deve ser feito no local da torre, portanto, exige deslocamento de equipes maiores, concreto e material ao local em que o trabalho deve ser executado.

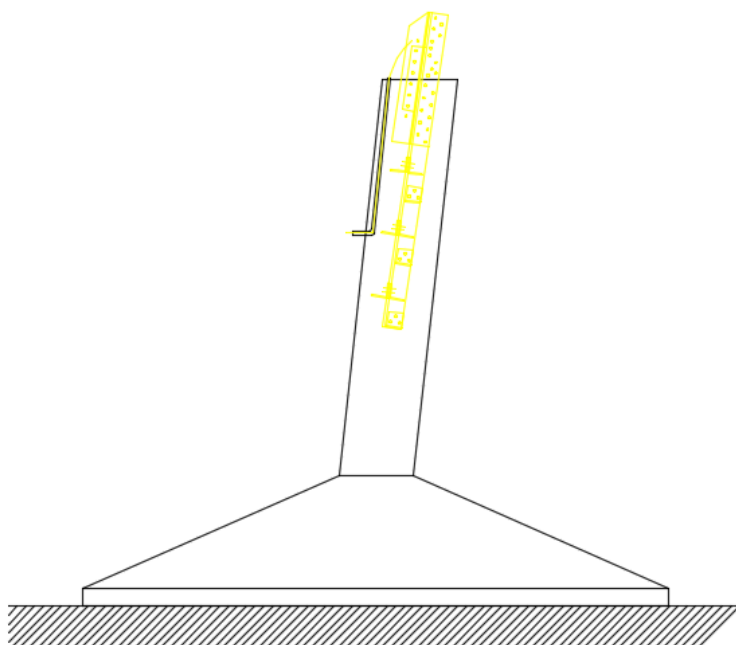


Figura 10 - Fundação do tipo sapata.

Fonte: Odebrecht – Documentos internos.

A Tabela 4 abaixo exemplifica as vantagens e desvantagens dos dois principais tipos e fundações utilizados para torres de linha de transmissão, considerando aspectos como volumes de armação, escavação, concreto e custo para execução.

Tabela 4 - comparação entre os principais tipos de fundação utilizados em linhas de transmissão.

TUBULÃO	SAPATA
Menor custo	Maior custo
Menor volume de escavação	Maior volume de escavação
Menor resistência a esforços	Maior resistência a esforços
Menor volume de armação	Maior volume de armação
Menor volume de concreto	Maior volume de concreto
Podem ser pré-moldados em canteiro	Concretagem precisa ser executada in loco
Maior profundidade	Menor profundidade
Não tem boa resistência em solos instáveis	Resistem melhor a solos mais instáveis

Fonte: Odebrecht – Documentos internos.

7 TIPOS DE CABOS

O principal propósito da construção de uma linha de transmissão de energia elétrica é conduzir eletricidade de uma fonte de geração até uma subestação, otimizando esta transmissão de maneira a produzir o menor custo, maior segurança e confiabilidade. E para que isso aconteça, os condutores instalados em uma linha de transmissão têm papel de grande importância na definição dos aspectos relacionados a LT, pois eles desempenham o principal papel na condução de energia.

De acordo com a NBR 5422, os aspectos principais a serem considerados para a definição dos cabos condutores utilizados em linhas de transmissão são as condições ambientais como: temperatura média sem vento, temperatura máxima média sem vento, temperatura mínima sem vento e temperatura coincidente quando da ocorrência de velocidade do vento de projeto. Também, a flecha máxima dos cabos, que se trata da distância vertical que liga os dois pontos de fixação, ou seja, a distância da altura do ponto de fixação até a linha reta tangente a curva catenária. A carga nos cabos também deve ser considerada e dependem do seu peso próprio e da pressão do vento.

7.1 Temperatura dos cabos

Para se definir os parâmetros de temperatura nos cabos condutores de uma linha de transmissão, deve ser considerado primeiramente a média de temperatura ambiente do local em que a LT será locada, assim como as temperaturas máximas e mínimas registradas na região. (NBR 5422)

Para se determinar a temperatura máxima suportada pelos cabos condutores, segundo a NBR 5422, devem ser analisados aspectos de temperatura, radiação solar e velocidade do vento na região estudada, assim como dados meteorológicos referentes ao local. Devem ser feitos estudos analisando a corrente máxima com as condições ambientais correspondentes e também estudos relativos a temperatura ambiente e radiação solar máxima relativas a uma corrente compatível com estas situações.

A título de se exemplificar, considere uma linha de transmissão situada na região Oeste do estado do Paraná, com tensão nominal de 230 kV. A partir dos dados meteorológicos desta região, extraídos de relatórios de órgãos como, por exemplo, o SIMEPAR, apresentam-se os parâmetros na Tabela 5, que devem ser utilizados para o dimensionamento do cabo condutor ideal a ser utilizado neste projeto:

Tabela 5 - Dados meteorológicos para dimensionamento de condutor de uma linha de transmissão.

Temperatura máxima média	30°C
Velocidade do vento	1 m/s
Radiação solar	Sol a pino (12 h)
Atmosfera	Limpa
Latitude média	25°
Azimute da diretriz	90°
Altitude média	550 m
Coefficiente de absorção	0,77
Coefficiente de emissividade	0,78

Fonte: Odebrecht – Documentos internos.

Através do uso do software TEMPCOND, que se trata de um software no qual parâmetros citados na tabela são inseridos gerando um relatório como o mostrado na Figura 11, pode-se concluir que a temperatura do condutor considerado para esta LT será inferior a 47°C, portanto, adota-se uma temperatura mínima de 50°C para o valor da resistência do cabo condutor em sua máxima capacidade de transmissão. Esta temperatura também é utilizada como temperatura mínima para projetos de locação de LTs no Brasil, também considerada em estudos de sistema pela ONS. Para este exemplo, foi definida a utilização de um feixe de 2 condutores AI. Liga 1120- 1155,5 kcmil, 61 fios, com espaçamento de 457 mm.

Para um certo trecho de outra LT, situada na região sudeste do Brasil, com tensão de 500 kV, foram adotados os seguintes valores, conforme Tabela 6.

Tabela 6 - Dados meteorológicos considerados para dimensionamento de condutor de uma linha de transmissão.

Temperatura ambiente	35oC
Velocidade do vento	1m/s
Radiação solar	Sol a pino (12 h)
Atmosfera	Limpa
Latitude média	13°
Azimute da Diretriz	90°
Altitude média	500 m
Coeficiente de absorção	0,77
Coeficiente de emissividade	0,78

Fonte: Odebrecht – Documentos internos.

As correntes circulando nos condutores também são calculadas utilizando o software TEMPCOND, que trata-se de um software no qual parâmetros citados na tabela são inseridos gerando um relatório como o mostrado na Figura 11, obteve-se o valor de 68°C para correntes de longa duração (que são as correntes nominais de operação da LT) e 77°C para correntes de curta duração (por exemplo, durante uma sobrecarga momentânea ou uma energização de um equipamento indutivo). Para a locação das estruturas nesta LT, foi considerado o valor da temperatura de corrente de longa duração, ou 68°C. Para esta LT, foi selecionado um condutor do tipo ACAR, com 6 condutores por fase, Ligas AL1350 e Al 6201 - 850 kcmil e espaçamento de 430, 96 mm²

```
*****
* PROGRAMA TEMPCOND VERSAO 1.0      ENGEPRO ENGENHARIA LTDA.          PAGINA - 1*
* LOTE A CABO ACAR 850 KCMIL (CASO MAIS DESFAVORAVEL)              29-04-13*
*****
```

DADOS GERAIS

=====

```
DIAMETRO                      : 2.6960 (cm)
RESISTENCIA A 50.0 oC        : .0793 (Ohm/km)
TEMP. CONDUTOR (VALOR INICIAL) : 40.0000 (oC)
PASSO DA TEMPERATURA         : 1.0000 (oC)
TEMP. CONDUTOR (VALOR FINAL)  : 100.0000 (oC)
FATOR DE EMISSIVIDADE        : .7800 (p.u.)

VELOCIDADE DO VENTO           : 3.6000 (Km/h)
TEMPERATURA AMBIENTE          : 35.0000 (oC)
ALTITUDE DA REGIAO            : 500.0000 (m)

HORA LOCAL                     : 12.0000 (h)
LATITUDE DA REGIAO            : -13.0000 (GRAUS)
DECLINACAO SOLAR              : -23.0000 (GRAUS)
AZIMUTE DA LT                 : 90.0000 (GRAUS)
TIPO DE ATMOSFERA             : LIMPA
COEFIC. DE ABSORCAO          : .7700 (p.u.)

IRRADIACAO SOLAR              : 8375.2690 (W/km.cm)
```

RESULTADOS

=====

TEMPERATURA DO CONDUTOR (oC)	CORRENTE TRANSMISSIVEL PELO CONDUTOR (A)
40.0000	.0000
41.0000	.0000
42.0000	.0000
43.0000	.0000
44.0000	.0000
45.0000	.0000
46.0000	116.9156
47.0000	203.3774
48.0000	262.5105
49.0000	310.3534
50.0000	351.5487
51.0000	388.2209
52.0000	421.5538
53.0000	452.2884
54.0000	480.9246
55.0000	507.8194
56.0000	533.2375
57.0000	557.3829
58.0000	580.4153
59.0000	602.4641

Figura 11 - Exemplo de relatório gerado pelo software TEMPCOND.
Fonte: Odebrecht – documentos internos.

Analisando estes dois exemplos, é possível observar que a temperatura nos condutores se relaciona com a tensão da LT, ou seja, quanto maior a tensão nominal da LT, maior a temperatura nos cabos condutores e, portanto, mais resistentes os mesmos devem ser.

7.2 Flecha máxima

Para manter a segurança nas linhas de transmissão, os esforços resultantes nos cabos condutores devem ser considerados nos cálculos mecânicos quando se trata de calcular a flecha resultante nos vãos da LT. Para cada vão, uma flecha diferente deve ser calculada e levada em consideração, já que cada torre, terreno, fundação e vão tem seus aspectos particulares. Além destes aspectos, ainda devem ser considerados as pressões, temperatura e velocidade dos ventos.

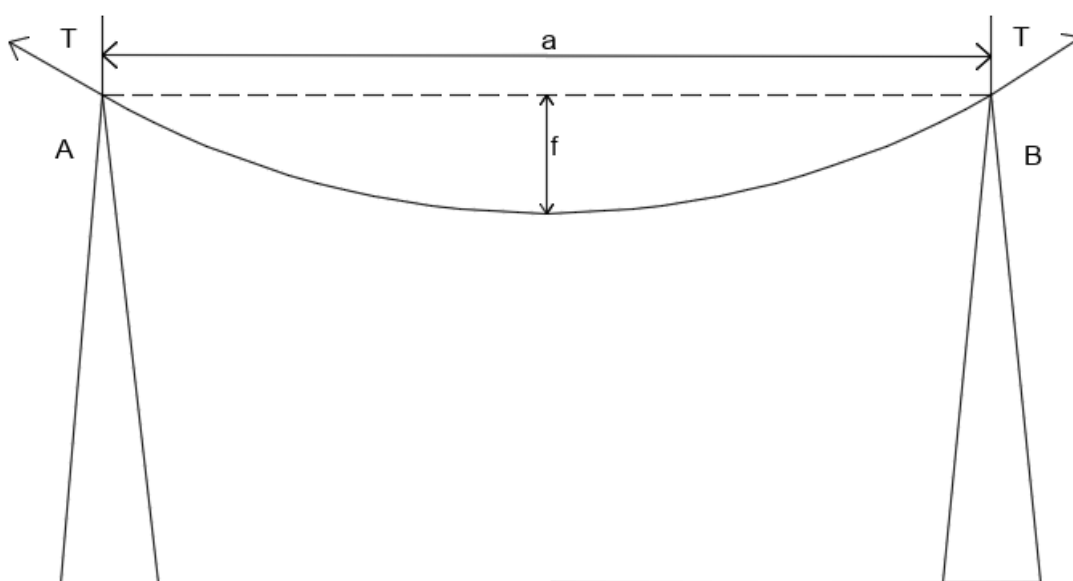


Figura 12 - flecha do cabo em um vão

Fonte: Autoria própria.

Para a definição deste parâmetro, são levados em consideração aspectos como velocidade extrema e nominal do vento, pressões decorrentes da ação do vento extremo e temperaturas média, mínima absoluta e média das mínimas na região onde a LT será locada. Ainda, são levadas em considerações as condições básicas dos condutores selecionados, visando limitar as trações que atuam sobre os condutores a valores que garantam sua integridade e a segurança da linha de transmissão. Além disso, devem-se considerar as cargas resultantes ação dos ventos e as deformações que podem vir a ser produzidas por vibrações induzidas por ventos de baixa intensidade. A NBR 5422 recomenda limitar a tração de maior duração coincidente com a temperatura média da região a valores percentuais determinados para cada tipo de condutor. A flecha para um cabo em um vão qualquer pode ser definida pela Equação (3), que relaciona as incógnitas destacadas na Figura 12.

$$f = \frac{T_o}{p \cdot \left[\cosh \left(\frac{a}{2 \cdot T/p} \right) - 1 \right]} \quad (3)$$

Em que,

f = flecha [m]

T = tração [kgf]

p = peso do condutor [kgf/m]

a = tamanho do vão [m]

A ANEEL também limita os valores das trações axiais a valores percentuais correspondentes a carga de ruptura do cabo para ação de vento extremo, vento nominal e temperatura mínima.

Através dos parâmetros citados acima se torna possível a determinação da flecha e das trações correspondentes. Para este cálculo, são utilizados softwares, como é o exemplo do FLECAE, onde se inserem os dados a serem considerados para cálculo da flecha e obtém-se um relatório como mostrado na Figura 13, além das curvas de tensão e deformação e fluência do próprio condutor a ser estudado. Os cálculos geralmente são efetuados considerando uma faixa de vãos variando entre os valores em metros de vãos máximos e mínimos para a LT em estudo, sendo alguns vãos objetivo de estudos específicos por sua peculiaridade, como é o caso de vãos de travessias de estradas ou rios.


```

      F L E C A E
      ESTUDOS DE FLECHAS E TRACOES
-----
ENGEPRO  Engenharia                                DATA: 2/10/13
                                                    HORA: 15:35:26
                                                    PAGINA 1
-----

PROJETO: PROJETO BÁSICO
        LT 230 KV UHE BAIXO IGUAÇU- CASCAVEL OESTE
        TABELA DE FLECHAS E TRAÇÕES DO CONDUTOR AAAC 1155,5
-----

CABO: AAAC 1120      1155.5kcmil      61FIOS      2 POR FASE
diametro   = 31.46 mm      coef. dilat.i = .00002300 oC-1
area seccao = 585.00 mm2    coef. dilat.f = .00002300 oC-1
peso linear = 1.6117 Kg/m   mod. elast. i = 4829. Kgf/mm2
carga rupt. = 13728. Kgf    mod. elast. f = 6526. Kgf/mm2

VENTOS DE PROJETO PARA O CABO:
CONDICAO 1 :                      CONDICAO 2 :
Temperatura = 15.0 oC              Temperatura = .0 oC
Pressao      = 115.00 Kgf/m2       Pressao      = .00 Kgf/m2
Carga        = 3.9607 Kgf/m        Carga        = 1.6117 Kgf/m

CADEIA:
peso . . . = .00 Kgf
comprimento = .00 m
area . . . = .00 m2

VENTOS DE PROJETO PARA A CADEIA:
CONDICAO 1 :                      CONDICAO 2 :
Temperatura = 15.0 oC              Temperatura = .0 oC
Pressao      = .00 Kgf/m2         Pressao      = .00 Kgf/m2
Carga        = .00 Kgf            Carga        = .00 Kgf

TEMPERATURA E D S = 20.0 oC

EQUIVALENTES TERMICOS DO "CREEP" SAO DADOS.

OBS: NAO ESTAO SENDO CONSIDERADAS AS CADEIAS DE ANCORAGEM

```

Figura 13 - Exemplo de relatório gerado pelo FLECAE.
 Fonte: Odebrecht – documentos internos

8 LANÇAMENTO DE CABOS

O lançamento de cabos condutores é uma das últimas atividades a serem desenvolvidas na construção de uma linha de transmissão, já que para ser executada, demanda que as torres já estejam montadas e revisadas e as cadeias de isoladores instaladas nestas torres.

Porém, não significa que os cabos devam ser lançados continuamente em toda a LT. O lançamento pode ser dividido em trechos que já estão prontos, fixados nas torres que estão preparadas e, posteriormente, ligado a outro trecho com a utilização de luvas de emenda previamente definidas em projeto.

É interessante que os cabos definidos em projeto provenham do mesmo fabricante e, preferencialmente, de um mesmo lote de fabricação, para que suas características físicas, mecânicas e elásticas sejam as mesmas (FUCHS).



Figura 14 - lançamento de cabos condutores em linha de transmissão através da utilização de guincho.

Fonte: Odebrecht – Documentos internos.

Para se lançar os cabos em uma linha de transmissão, inicialmente, deve-se efetuar o transporte das bobinas para as praças de lançamento de cabos da LT, que se tratam dos locais onde as torres estão montadas, revisadas e preparadas para receber os condutores. Os mesmos, então, serão desenrolados e distribuídos nos vãos. Para distribuir os cabos nos vãos, são utilizadas roldanas fixadas nas cadeias de isoladores antes de fixar definitivamente os cabos, e,

as alturas em que ficarão suspensos até a fixação são as mesmas em que serão fixados definitivamente. As extremidades dos cabos entre o fim de uma bobina e início de outra são unidas através do uso de luvas de emenda. (FUCHS).



Figura 15 - exemplo de praça de lançamento de cabos.
Fonte: Odebrecht – Documentos internos.

Após o desenrolamento e lançando dos condutores, estes devem ser analisados, visando encontrar possíveis defeitos provenientes do atrito gerado durante o desenrolamento e lançamento. Ainda, os condutores devem ser tensionados com valores similares aos valores de tensão considerados em projeto para serem tensionados quando fixados definitivamente.

Quando tem fim o lançamento preliminar dos condutores da LT, os mesmos são tensionados com os valores de projeto calculados para o vão em questão, respeitando a flecha do cabo para este vão e são, por fim, fixados definitivamente nas cadeias de isoladores.

8.1 Grampeamento dos Cabos

A montagem de uma linha de transmissão envolve uma série de ferragens, geralmente fitas de ligas de aço e alumínio. Estes acessórios são projetados e integram o projeto de uma linha de transmissão com o objetivo de resistir aos esforços eletromecânicos aos quais uma linha de transmissão esta sujeita, como, por exemplo, os ventos, e também efeitos elétricos presentes, como é o caso do efeito corona.

Estas ferragens são fabricadas atendendo especificações normativas que visam o correto cumprimento de cada função que estes acessórios têm em uma linha de transmissão.

Para fixar os condutores nas torres de transmissão, são utilizados grampos, que fazem a conexão entre as cadeias de isoladores fixadas às torres e os cabos condutores suspensos. Esta fixação é feita através da utilização de grampos metálicos, que podem ter formato de bola, gancho, garfo, olhal ou elo.

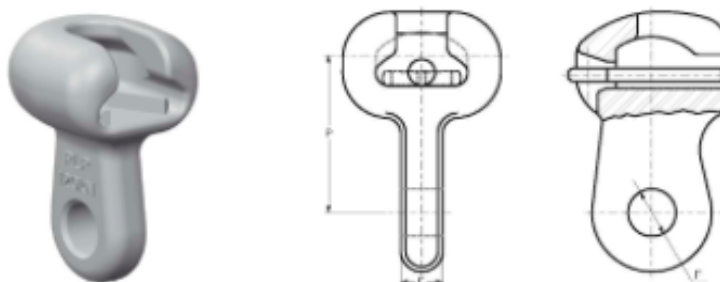


Figura 16 - grampo do tipo concha.
Fonte: Datasheet PLP Brasil.

A definição do tipo de grampo ideal para o projeto de uma linha de transmissão esta diretamente relacionada com a definição do condutor ideal para o projeto. Neste caso são levados em consideração aspectos como os esforços transferidos às torres, cadeias de isoladores e, conseqüentemente, aos grampos que sustentam os condutores, fazendo o trabalho de mantê-los fixos às torres de transmissão.

Após o lançamento de cabos e conferência da flecha dos condutores com a especificação de projeto, os condutores são grampeados definitivamente às torres da linha de transmissão, no vão em questão, utilizando-se destas ferragens. Em seguida, é feita a conferência do grampeamento dos condutores, para que seja assegurado que os acessórios estão adequadamente instalados, garantindo assim, a segurança da linha de transmissão.



Figura 17 - atividade de regulagem e grampeamento de cabos sendo executadas durante a montagem de uma linha de transmissão.

Fonte: Odebrecht – Documentos internos.

Os espaçadores, exemplificados pela Figura 18, constituem outro tipo de acessório metálico utilizado em projetos de linhas de transmissão, os mesmos também se tratam de acessórios produzidos atendendo especificações normativas e tem a função de manter os condutores e sub condutores espaçados, para que não haja choque entre eles, além de limitar os efeitos dos ventos transferidos aos condutores e, conseqüentemente as estruturas. Tais equipamentos, são instalados em sequência ao grampeamento dos condutores as torres.

Para limitar a transferência de vibrações geradas por efeitos mecânicos aos condutores, são utilizados amortecedores de vibração. Normalmente, os espaçadores são espaçadores-amortecedores, como é o caso exemplificado pela Figura 18, exercendo tanto a função de manter o espaçamento entre condutores como absorver parte da vibração mecânica e evitar danos aos condutores.

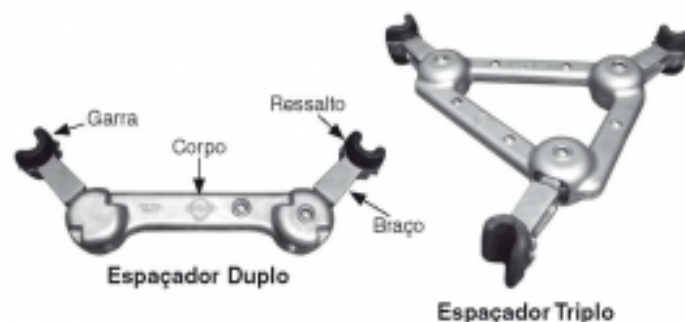


Figura 18 - exemplos de espaçadores-amortecedores.

Fonte: Datasheet PLP Brasil

9 ISOLADORES

Linhas de transmissão operam em alta tensão e, para garantir a segurança de uma linha de transmissão, os condutores devem estar eletricamente isolados das torres metálicas que os sustentam e do solo. O isolamento elétrico de uma linha de transmissão é feito, basicamente através do ar (FUCHS), porém, para garantir o isolamento e segurança, são utilizados elementos feitos de materiais dielétricos, como vidro ou porcelana que são denominados isoladores.

Existem diversos tipos de isoladores para alta tensão e, em linhas aéreas de transmissão, os principais tipos utilizados são feitos a partir de materiais dielétricos como porcelana coberta com esmalte liso vitrificado, vidro recozido ou vidro temperado. Os isoladores feitos de vidro, tanto recozido quanto temperado, devem ser incolores ou esverdeados, homogêneos e livre de trincas ou bolhas. Os isoladores manufaturados de porcelana, devem ser produzidos por processos de plástico ou líquido, livre de trincas ou bolhas, nas cores marrom ou cinza. As ferragens dos isoladores devem ser feitas de ferro fundido maleável ou nodular, aço, alumínio ou bronze, protegidas de corrosão através de processo de zincagem, exceto em caso de utilização de aço inoxidável, alumínio ou bronze. (NBR 5032)

De acordo com a NBR 5032, os isoladores para linhas aéreas de transmissão podem ser divididos em quatro tipos: isoladores de pino, isoladores-pilar, isoladores para sistema de tração elétrica e isoladores para cadeia, estes podendo ser isoladores de disco ou isoladores-bastão. Os isoladores para cadeia são os mais utilizados em linhas de transmissão de alta tensão, pois se comportam melhor quando se trata de suportar os esforços verticais e horizontais dos cabos condutores, isolando-os das estruturas metálicas que os sustentam.

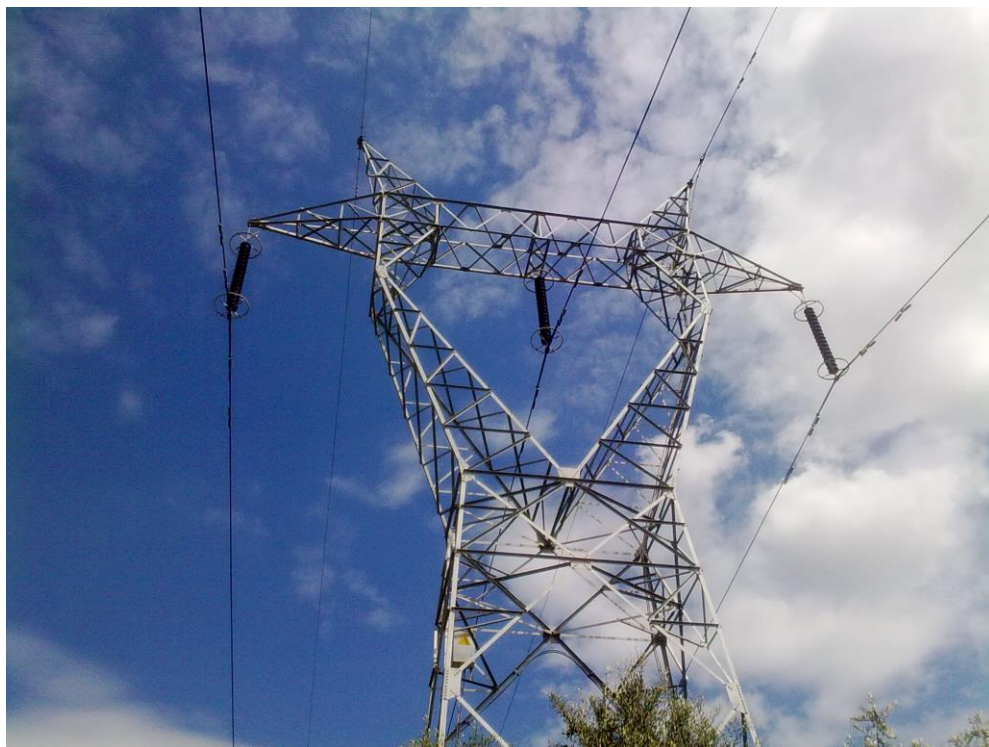


Figura 19 - cadeias de isoladores em suspensão em formato de “I” instaladas em torre de transmissão.

Fonte: Odebrecht – Documentos internos.



Figura 20 - cadeias de isoladores de ancoragem instaladas em torre de linha de transmissão ainda em processo construtivo.

Fonte: Odebrecht – Documentos internos.

As cadeias são formadas por um determinado número de isoladores do tipo disco ou isoladores-bastão, conectados em cadeia de modo flexível, visando suportar os condutores da LT submetidos a esforços como a tração (NBR 5032). Para definir o número de isoladores em uma cadeia e qual o tipo ideal de isolador a ser utilizado, aspectos como tensão nominal e condições atmosféricas do local onde serão instalados devem ser levados em consideração.

As cadeias de isoladores do tipo disco são formadas por peças em formato de disco, feitas de porcelana ou vidro, conectadas por ferragens de maneira flexível a fim de permitir liberdade de movimentação, facilitando que estas peças trabalhem sob grandes esforços de tração sem serem facilmente danificadas. As dimensões deste tipo de isoladores são padronizadas pela IEC (International Eletrotecnical Comission), para que se possa, em caso de manutenção da linha de transmissão, intercambiar as unidades de diferentes fabricantes.



Figura 21 - cadeia de isoladores do tipo disco.
Fonte: (ISOLADORES, 2018)

Os isoladores-bastão são formados a partir de um núcleo de forma cilíndrica, com ou sem saias e tem ferragens fixadas externamente e cada extremidade (NBR15651). Os tipos mais comuns são feitos a partir de um núcleo de fibra de vidro, o que assegura alta resistência mecânica, sendo assim adequados para a utilização em linhas de alta e extra alta tensão. (Bonomo, 2003)

As cadeias de isoladores em uma linha de transmissão podem ser divididas em cadeias de ancoragem ou cadeias de suspensão. As cadeias de suspensão devem suportar os condutores e transmitir aos suportes os esforços mecânicos recebidos dos condutores, podendo ser configuradas em formato de “I”, conforme Figura 19, ou “V”. As cadeias de ancoragem, como

a ilustrada na Figura 20, são as que suportam os maiores esforços mecânicos na linha de transmissão, devendo suportar os esforços transmitidos atualmente pelos condutores em quaisquer condições.

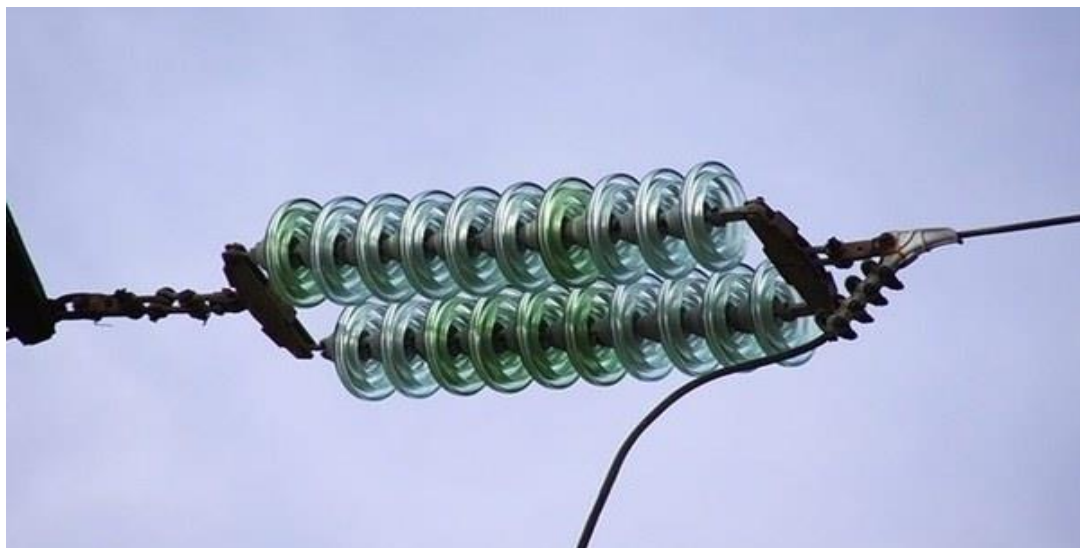


Figura 22 - cadeia de isoladores de ancoragem.
Fonte: (MERUVA, 2018).

9.1 Tipo de Isolador Ideal

A definição do tipo de isolador ideal para uma linha de transmissão deve considerar, primeiramente, a tensão nominal da linha de transmissão e o tipo de condutor a ser utilizado. A partir destes dados é possível fazer o estudo de definição dos isoladores, levando em consideração aspectos como carga mecânica de ruptura, tipo de engate, diâmetro do disco, quantidade a ser utilizada em cadeias de suspensão e ancoragem, material a ser utilizado e ensaios aos quais os isoladores serão submetidos.

Os principais tipos de ensaios aos quais os isoladores devem ser individualmente submetidos são ensaios de tipo, ensaios de recebimento e ensaios de rotina, conforme consta em norma (NBR 5032). Os ensaios de tipo têm como objetivo determinar as principais características de um isolador, como tensão disruptiva, tensão crítica de descarga sob impulso atmosférico, tensão de rádio interferência, resistência ao impacto, resistência residual, verificação dimensional e desempenho termo mecânico. Os ensaios de rotina servem para eliminar isoladores defeituosos e são realizados durante o processo de fabricação em

determinada porcentagem do lote, são realizados a partir de inspeção visual, ensaio mecânico de rotina, ensaio elétrico de rotina e, em caso de isoladores de vidro temperado, ensaios de choque térmico. Os ensaios de recebimento ou aceitação tem como finalidade verificar as características sujeitas a variar com o processo de fabricação de um isolador de acordo com a qualidade dos materiais empregados, sendo realizados através da retirada de uma amostra de um determinado lote de isoladores fabricados, sendo submetidos a verificação visual, testes de ciclo de temperatura, carga de ruptura eletromecânica, porosidade, zincagem, choque térmico, entre outros. (ENGEPRO)

A título de exemplificar, considere a linha de transmissão de 230 kV, citada anteriormente na seção de definição dos condutores, como exemplo. Para a referida LT, os isoladores foram definidos de acordo com o condutor selecionado, sendo cada fase formada por 2 condutores AAAC-1120 1155,5 kcmil, dispostos horizontalmente com espaçamento de 457 mm, definiu-se que a carga mecânica de ruptura necessária a ser suportada seria de 120 kN, onde os engates seriam do tipo concha-bola, atendendo as especificações da norma ANSI C29.2, conforme Figura 23, classe 52.5, com discos de 254 mm de diâmetro. As quantidades de discos por cadeia variam de acordo com o tipo de cadeia considerada. Para cadeias de suspensão e passagem, foram definidas 14 unidades por cadeia, no formato de “I”. Já para as cadeias de suspensão, foram definidas 2x14 unidades e 2x16 unidades para as de ancoragem, ambas em formato de “V”. O material a ser utilizado é vidro temperado, com campânulas de ferro fundido zincado, pinos de aço forjado zincado e cupilhas de aço inoxidável. (ODEBRECHT)



Figura 23 - Isoladores concha-bola atendendo a norma ANSI C29.2, de porcelana e vidro. Fonte: (Disco, 2018).

Para a linha de 500 kV, também tomada anteriormente como exemplo, foi utilizado o mesmo isolador, carga mecânica de ruptura necessária a ser suportada de 120 kN, engates do tipo concha-bola ANSI C29.2, classe 52.5, com discos de 254 mm de diâmetro, porém as quantidades por cadeia são diferentes. Para cadeias de suspensão em formato de “I”, foram utilizados 22 discos, para cadeias em formato de “V”, 2x22 discos, para cadeias de passagem em “I”, 22 discos, para passagem em formato de “V”, 2x25 discos e para cadeias de ancoragem quadrupla, 4x23 discos. (ATE XVI)

10 SINALIZAÇÃO DE SEGURANÇA EM LINHAS DE TRANSMISSÃO

Por ser algo de extrema importância, os critérios de sinalização de segurança em linhas de transmissão são definidos por normas específicas elaboradas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT, para que haja padronização nos critérios utilizados para sinalizar a existência de LTs.

No que tange a sinalização de linhas de transmissão com vistas a segurança da inspeção aérea, os critérios são definidos pela NBR 6535 e são eles:

- Sinalização por pintura de suportes: a norma define que a pintura deve ser feita nas cores laranja ou vermelha, pois estas cores significam advertência ou obstáculo iminente aos pilotos de aeronaves. Existem critérios específicos para pintura dos suportes em caso de cruzamentos de LTs, deflexões de LTs e saídas de ramais de LTs, pois estes são pontos que exigem maior atenção quanto a segurança;
- Sinalização por placas de advertência: as placas de advertência podem ser utilizadas para substituir ou complementar a sinalização pela pintura de suportes. As placas de advertência normalmente são utilizadas em casos onde o processo de pintura não é viável ou adequado. As placas de advertência a serem utilizadas para sinalização são definidas pela NBR 6535, assim como a maneira que o processo de sinalização deve ser efetuado.
- Sinalização por esferas: as esferas devem ser nas cores laranja ou vermelha, conforme Figura 24, seguindo padrão de cores definido pela NBR 6535 e devem ter diâmetro de 600 mm. São definidos critérios e procedimentos específicos para sinalização em pontos como o cruzamento de LTs, ramais, derivações ou terminais de linha.



Figura 24 - Esfera sinalizadora.
Fonte: (ELETROFERRAGENS, 2018)

Além destas maneiras de sinalização de segurança, a NBR 6535 ainda define como deve ser feita a sinalização em casos especiais, como é o caso de sinalização de LTs para mais de uma finalidade. Neste caso, a sinalização deve ter preponderância a sinalização para cruzamento de LTs e derivações. A Tabela 7 mostra, de acordo com a NBR 6535, qual deve ser o padrão de cores utilizado para a pintura de suportes, atendendo aos critérios de sinalização de segurança. Nesta tabela, a BSI 381C se trata de um padrão de cores definido para propósitos específicos, assim como o padrão Munsell.

Tabela 7 - Padrão de cores definido pela NBR 6535 no anexo A, para a sinalização de LTs.

Cor	Cor equivalente, segundo a BSI 381 C	Referência Padrão Munsell
Laranja	nº 557	2.5 YR 6/14
Vermelha	nº 537	5R 4/14
Amarela	-	5Y 8/12
Preta	-	N1

Fonte: Odebrecht – Documentos internos

A Figura 25 a baixo mostra, baseada nas especificações da NBR 6535, a altura que os suportes das linhas de transmissão devem ser pintados com as cores especificadas para atender aos critérios de sinalização de segurança, onde h representa a altura total do suporte e $h/2$ representa a área mínima a ser pintada.

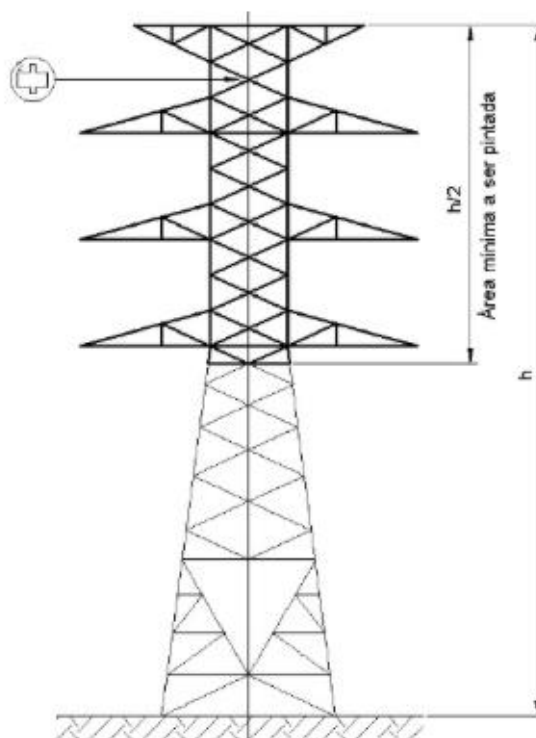


Figura 25 - altura definida pela NBR 6535 para pintura dos suportes de LTs.
Fonte: ABNT NBR 6535.

Cada projeto de linha de transmissão tem sua sinalização de segurança definida em projeto, através do estudo da localização da linha, condições de tráfego aéreo da região, tipos de cruzamento, derivações, número de fases, entre outros. A princípio, são definidas as sinalizações a serem aplicadas a LT, em questão de identificação e advertência.

No que diz respeito a identificação da linha de transmissão, são definidos os critérios de fases e estruturas, visando o reconhecimento da linha de transmissão por funcionários em caso de manutenção, inspeção ou ainda como referência para terceiros em caso de necessidade de comunicação com a empresa responsável pelo empreendimento. A princípio, é definida uma sigla para identificação da linha de transmissão, normalmente considerando a sigla referente a subestação de início da LT e a subestação onde a linha termina. As estruturas da linha de transmissão são, em linhas gerais, numeradas consecutivamente da primeira estrutura, na subestação de início da linha de transmissão até a última estrutura, na subestação de fim de linha. A sinalização das fases é definida e geralmente feita a partir de placas de sinalização.

Ainda, devem ser especificados os parâmetros da linha de transmissão, como circuito e fases. Para sinalizar estes critérios, geralmente são definidas estruturas específicas, como por exemplo todas as estruturas com número de identificação múltiplo de 10, primeira e última

estrutura da LT, estruturas de fácil visualização em estradas ou em locais onde a identificação da linha se torna difícil devido a existência de múltiplas linhas de transmissão.

Já no que diz respeito a sinalização de advertência da linha de transmissão que tem como objetivo a segurança física e operacional do empreendimento, assim como a segurança de terceiros, deve ser feita sinalização de advertência de perigo para pedestres, geralmente com placas de advertência de perigo fixadas em locais de fácil visualização e acesso em locais de possibilidade de transito e pessoas próximas, como residências, estradas, ferrovias, etc. Em caso de estruturas estaiadas, deve ser feita a sinalização dos estais das torres, atendendo critérios de projeto, como mostrado na Figura 26, de uma LT situada na região Oeste do estado do Paraná, onde a altura mínima para sinalização dos estais foi definida com um mínimo de 3 m em locais de cultura agrícola ou transito de veículos. Os pequenos retângulos com preenchimento na cor preta na figura mostram onde devem ser instaladas placas de sinalização neste projeto específico.

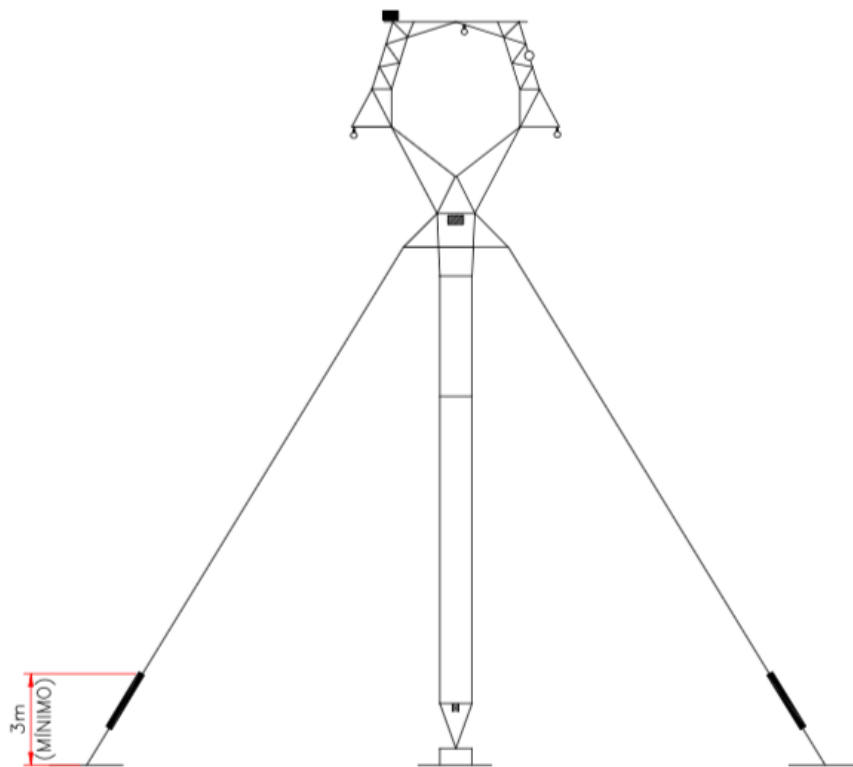


Figura 26 - Sinalização de segurança em torres estaiadas definida para uma LT situada na região oeste do estado do Paraná.

Fonte: Odebrecht – Documentos internos.

11 CONCLUSÃO

Sabe-se que expandir a malha de transmissão de energia elétrica é de suma importância para o desenvolvimento de um país. Com o desenvolvimento deste trabalho, foi possível entender que aprimorar e otimizar o processo de construção de linhas de transmissão é indispensável, para que este tipo de empreendimento se torne cada vez mais seguro, eficiente e confiável. Deste modo, no decorrer do desenvolvimento deste estudo, ficou evidente que garantir a segurança e confiabilidade de uma linha de transmissão de energia, conhecer as etapas de elaboração de projeto e aplicabilidade destes projetos às etapas e métodos de construção é de grande importância, pois, a mão de obra capacitada para realizar este tipo de projeto no Brasil ainda é limitada.

Por sua vez, o conhecimento acadêmico e técnico a cerca dos processos construtivos de linhas de transmissão não é de fácil acesso e a bibliografia ainda é muito limitada, além disso, notou-se que a oferta de cursos de formação de profissionais nesta área é escassa e restrita apenas aos agentes envolvidos com grandes construtoras, o que acaba limitando o compartilhamento de todo este conhecimento com o meio acadêmico. Foi possível constatar também que as grandes construtoras e as instituições de ensino superior não possuem parcerias para estreitar relações e conhecimentos no que diz respeito a construção e operação de linhas de transmissão, muitas vezes por medo ou receio de compartilhar este conhecimento que foi adquirido com muito investimento por parte das empresas.

Os passos e procedimentos apresentados neste trabalho foram baseados nas atividades executadas por construtoras do setor de transmissão e, apesar de serem utilizados há muito tempo pelas mesmas, se provam eficientes no processo construtivo de linhas de transmissão, já que, ao longo dos anos, a maneira de executar este tipo de obra não sofreu grandes alterações, pois o desenvolvimento de tecnologias para otimizar este processo no Brasil não é uma tarefa simples e o acesso a estas tecnologias é limitado.

Por ser um setor crescente no Brasil, os estudos a respeito de linhas de transmissão devem ter continuidade para que as atividades no âmbito de projeto e construção possam ser cada vez mais eficientes, seguras e confiáveis e para que os estudos de novas tecnologias no setor possam alcançar cada vez mais o meio técnico e acadêmico, garantindo que a energia elétrica possa ser transmitida com a maior qualidade e menor custo, beneficiando e colaborando para o desenvolvimento social e econômico do país

12 REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, disponível em: <<http://www.aneel.org.br>> Acesso em: 21 de abril de 2018.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5422. “**Projeto de linhas aéreas de transmissão de energia elétrica**”. Norma Técnica, fevereiro de 1985.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6122: “**Projeto e execução de fundações**”, Norma Técnica, setembro de 2010.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5032: “**Isoladores para linhas aéreas com tensões acima de 1000 V - Isoladores de Porcelana ou vidro para sistemas de corrente alternada**”, Norma Técnica, outubro de 2014.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6535: “**Sinalização de linhas aéreas de transmissão de energia elétrica com vistas a segurança da inspeção aérea**”, norma técnica, agosto de 2005.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 8664: “**Sinalização para identificação de linha aérea de transmissão de energia elétrica**”, norma técnica, novembro de 1984.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15651: “**Unidade de isolador-bastão composto para cadeias de linhas aéreas com tensão acima de 1000 V - Características dimensionais e elétricas**”, Norma Técnica, janeiro de 2009.

Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS, disponível em: <<http://www.ons.org.br>>. Acesso em: 04 de maio de 2018.

MENEZES, V. P. **Linhas de Transmissão de Energia Elétrica: Aspectos Técnicos, Orçamen- tários e Construtivos**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

FUCHS, R.D., **Transmissão de Energia Elétrica: Linhas Aéreas**, Livros Técnicos e Científicos, 1977.

PERES, L. L.; KALUCZ, R.; **Estudo de Projeto de Linhas de Transmissão Trifásicas Aéreas com Ênfase nos Cálculos Elétricos**, Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

ODEBRECHT, **Documentos internos LT 230kV UHE BI - CVO**, 2017.

ROSA, Marcelino, **Linha de Transmissão: Critérios de Projetos e Definição do Tipo de Fundação**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Anhembí Morumbi, São Paulo, 2009.

Companhia Energética de Minas Gerais - **CEMIG. História da Eletricidade no Brasil**, disponível em: http://www.cemig.com.br/pt-br/a_cemig/Nossa_Historia/Paginas/historia_da_eletricidade_no_brasil.aspx Acesso em: 12 de abril de 2018.

PUC - Rio. **Um Breve Histórico do Setor Elétrico Brasileiro**. disponível em: https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/13064/13064_3.PDF Acesso em: 15 de abril de 2018.

Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, **Declaração de Utilidade Pública - DUP**, disponível em: <http://www.aneel.gov.br/declaracao-de-utilidade-publica-transmissao> Acesso em: 21 de abril de 2018.

Empresa de Pesquisas Energéticas - **EPE, Anuário Estatístico de Energia Elétrica** 2017.

Empresa de Pesquisas Energéticas - EPE, disponível em: <http://www.epe.gov.br> Acesso em: 15 de maio de 2018.

LABEGALINI, P. R.; LABEGALINI, J. A.; FUCHS, R. D.; ALMEIDA, M. T, **Aspectos Mecânicos das Linhas Aéreas de Transmissão**. 2a ed. São Paulo: Edgar Blucher, 1992.

Companhia Energética de Minas Gerais - CEMIG. **Procedimento para Locação de Estruturas No Terreno**. Disponível em: ftp://ftp2.cemig.com.br/licitaserv/510-R11636%20-%20REGIONAL%20TRI%C2NGULO/Se%E7%E3o%20VIII%20-%20Documenta%E7%E3o%20T%E9cnica/Lote%202/Especif%20de%20LT/Eng%20tracado%20topog/30000_OTLT4_435.pdf Acesso em: 12 de julho de 2018.

ARAÚJO, Luiz Antônio Prêzia de, **Novas Tecnologias Para Estudo de Corredores e Traçados de Linhas de Transmissão**. São Paulo, 2007.

OLIVEIRA, E. R. **Projeto de linha de transmissão**. Entrevista com engenheiro de linha de transmissão. Realizada em 14 de outubro de 2014. Curitiba- PR.

AGUILERA, Jean Rodrigo Ferreira, **Estruturas Treliçadas Esbeltas sob Ação do Vento**. Dissertação de Mestrado, Rio de Janeiro, 2007.

Autor desconhecido. **Torres Terrenos e Fundações - Conceitos Gerais**. PUC - Rio de Janeiro, disponível em https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/16178/16178_6.PDF Acesso em: 21 de agosto de 2018.

CHAVES, Ronaldo Azevedo. **Fundações de Torres de Linhas de Transmissão e de Telecomunicação**. Dissertação de Pós-Graduação, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.

Autor Desconhecido. **Lançamento de Cabos em Linha de Transmissão**. disponível em: <<http://www.linhadetransmissao.com.br/tecnica/tecnica%252520nova.HTM>> Acesso em: 17 de setembro de 2018.

Linha de Ferragens Para Transmissão, disponível em <<http://www.plp.com.br/site/transmissao-catalogo/item/678-linha-de-ferragens-para-transmissao>> Acesso em: 17 de setembro de 2018.

FERREIRA, Nuno João da Silva. **Flecha e tensão de Montagem nas Linhas Aéreas com Cadeias de Isoladores em Suspensão**. Disponível em: <<https://paginas.fe.up.pt/~ee08346/>> Acesso em 13 de outubro de 2018.

Isoladores de Vidro, disponível em <<http://portuguese.aluminiumalloyconductors.com/sale-10359159-disc-fiberglass-electric-pole-insulators-glass-wire-insulators-with-cap-pin.html>> Acesso em 29 de setembro de 2018.

BONOMO, Angela. **Estudo Sobre Isoladores Poliméricos a Base de Resinas Poliuretanas Para Ambiente Externo**. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, 2003.

MERUVA, Mohan Krishna. **What is the Big Problem Occurred in Transmission Lines?** disponível em <<https://www.quora.com/What-is-the-big-problem-occured-in-transmission-line>> Acesso em 17 de outubro de 2018.

Isolador Suspensão Disco, disponível em <http://www.pysoncompany.com/index2.php?id=basico_mostrar&&codigo_cat=123> Acesso em 17 de outubro de 2018.

Eletroferragens de Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica, disponível em <<http://www.forjasul.com.br/pt-br/produtos-detalle/4/eletroferragens-de-transmissao-e-distribuicao-de-energia-eletrica>> acesso em 12 de outubro de 2018.

ATE XVI Transmissora de Energia S.A., **Projeto Básico - Lote A - Leilão Nº 007/2012 - ANEEL, LTs CS 500 kV MIRACEMA – GILBUÉS II C1 E C2, GILBUÉS II – BARREIRAS II – BOM JESUS DA LAPA II – IBICOARA C2, IBICOARA – SAPEAÇU C2**, 2013.