

**Universidade Federal de Minas Gerais
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas
Escola de Engenharia da UFMG**

**TORRE DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA
ELÉTRICA: NOVO DESIGN E OS DESAFIOS
DA INSERÇÃO NO CONTEXTO URBANO**

Karine Murta Elias

**Belo Horizonte
2015**

**TORRE DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA
ELÉTRICA: NOVO DESIGN E OS DESAFIOS
DA INSERÇÃO NO CONTEXTO URBANO**

Karine Murta Elias

**Universidade Federal de Minas Gerais
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas
Escola de Engenharia da UFMG**

TORRE DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA: NOVO DESIGN E OS DESAFIOS DA INSERÇÃO NO CONTEXTO URBANO

KARINE MURTA ELIAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestra em Engenharia de Estruturas.

Orientador: Ricardo Hallal Fakury

E42t

Elias, Karine Murta.

Torre de transmissão de energia elétrica [manuscrito] : novo design e os desafios da inserção no contexto urbano / Karine Murta Elias. – 2015. xviii, 142 f., enc.: il.

Orientador: Ricardo Hallal Fakury.

Dissertação (mestrado) Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Anexos: f. 118-142.

Bibliografia: f. 115-117.

1. Engenharia de estruturas - Teses. 2. Linhas elétricas - Postes e torres - Teses. 3. Energia elétrica - Transmissão - Teses. 4. Espaço urbano - Teses. I. Fakury, Ricardo Hallal. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 624(043)

De forma singela aqui os menciono, meus queridos pais, meu paciente irmão. Minha zelosa avó, meus familiares e amigos. A todos vocês, este trabalho eu os dedico.

Agradecimentos

Agradeço aos meus pais, pela dedicação e incentivo ao longo da minha vida.

Ao meu irmão, por me apoiar e escutar todos os meus desabafos, reclamações e “rec” durante o percurso até a faculdade quando íamos juntos.

Ao Prof. Ricardo Hallal Fakury, devo mais que um simples agradecimento pela orientação deste trabalho, mas principalmente por ter aceitado o desafio de orientar uma arquiteta. Simples seria se essa arquiteta não fosse eu. A “criança” feliz que falava por cinco nas orientações, mas no final das contas nos entendíamos.

Ao Prof. Carlos Roberto Gontijo, que foi mais que um coorientador. Abriu as portas do seu escritório para nossas reuniões, respondia meus e-mails desesperados atrás de informações e sempre cheios de dúvidas. Obrigada pelo conhecimento transmitido e pela oportunidade de participar do grupo de discussão do Cigré.

Ao Prof. Ivan José da Silva Lopes, por ter se disponibilizado a escutar uma estranha que queria que as pessoas passassem embaixo de uma torre de transmissão, e logo após se prontificar a me auxiliar. Foi através dele que eu tive condições de desenvolver ainda mais a parte elétrica do trabalho. Obrigada pela chance de participar da parte da disciplina que você ministrou, dos esclarecimentos por e-mails, pelas reuniões e por todo conhecimento passado.

Ao Wesley, Edino e Danilo Campos que trabalham na Cemig e foram colaboradores essenciais para o desenvolvimento e conclusão deste trabalho. Agradeço por terem aberto as portas da Cemig, dando-me a oportunidade de aprender um pouco mais com vocês.

Ao Claudenir pelas informações e colaboração ao longo da pesquisa.

Aos colegas do mestrado pela convivência, por compartilharem do mesmo desespero e pelas risadas.

A minha família, amigos e professores (em especial ao Ayrton Hugo, meu “eterno” professor) e funcionários pelo apoio, compreensão e carinho.

A todos de forma geral por terem confiado em mim e no trabalho desenvolvido.

“Existe uma crença de que os engenheiros não se interessam por arquitetura e que os arquitetos desprezam a engenharia. Não se sabe a origem dessa crença, que nem sempre é verdadeira. Os engenheiros devem aceitar o fato de que eles não possuem a formação adequada para apreciar a arte que, todas as vezes em que esquecem esta realidade, projetam obras sem qualquer atrativo visual. Por outro lado, muitos arquitetos, ao dar atenção exclusiva às artes plásticas, não têm tempo para compreender o funcionamento estrutural daquilo que imaginam...” (João Marcos Lopes – *Arquiteturas da engenharia, ou, Engenharias da arquitetura*)

Resumo

A distribuição de energia elétrica feita através de linhas de transmissão aéreas (que utilizam torres ou postes como suporte para os cabos), em maior proporção, ou subterrâneas, em situações especiais. Para interligar as usinas geradoras até os mais distantes centros de distribuição, para que a energia chegue até o consumidor final, as linhas aéreas precisam atravessar diferentes regiões passando tanto por áreas rurais quanto urbanas sem que haja uma distinção estética no projeto da torre que varie de acordo com o tipo de ambiente, gerando inúmeros impactos negativos nas áreas urbanas. Com o desenvolvimento tecnológico e as mudanças dos padrões sociais e econômicos, existe a necessidade da transformação e evolução não só do sistema, mas também dos elementos que o compõem, sempre em busca de soluções mais adequadas às necessidades da sociedade moderna que visam não somente a otimização elétrica do projeto, mas de forma conjunta a adaptação da estrutura da torre destinada ao ambiente urbano. Neste trabalho, é desenvolvido um “design” específico de torre de transmissão de energia para essas áreas, de modo a minimizar os impactos visuais. Tal projeto envolve diferentes áreas do conhecimento, e inúmeros estudos foram feitos para elaborar um projeto de grande porte como o que envolve uma linha de transmissão. Porém, como se trata de um trabalho acadêmico, o mesmo se baseia em um ponto de vista didático, onde os parâmetros podem ser estimados ou aproximados, de forma a se obter um resultado satisfatório para o desenvolvimento do trabalho.

Abstract

The distribution of electricity in Brazil is made by overhead transmission lines (using towers or poles as support for cables) to a greater extent, or underground, in special situations. To connect the power plants to the farthest distribution centers, so that the energy reaches the final consumer, airlines need to cross different regions of the country through both rural and urban areas without an aesthetic distinction in the tower design varies according to the type of environment, generating numerous negative impacts in urban areas. With technological development and changes of the social and economic standards there is a need of transformation and evolution not only the system but also the elements that compose it, always in search of more appropriate solutions to the needs of modern society that view not only the optimization electric project, but jointly adapting the urban environment designed tower structure. In this work, we developed a specific design of power transmission tower for these areas to minimize the impacts. This project involves different areas of knowledge, and numerous studies should be done to develop a large project as it involves a transmission line, but as it is an academic work, it will be based on a didactic point of view, where the parameters may be estimated or approximated, so as to obtain a satisfactory result for the development work.

Sumário

	Página
Resumo	vii
Abstract	viii
Sumário	ix
Lista de figuras	xii
Lista de tabelas	xvi
Lista de símbolos	xvii
Lista de Abreviaturas e Siglas	xviii
Capítulo 1 INTRODUÇÃO	01
1.1 Considerações iniciais	01
1.2 Objetivos e relevância da investigação	02
1.3 Organização do texto	02
Capítulo 2 A LINHA DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	05
2.1 Introdução	05
2.2 A energia elétrica no Brasil.....	06
2.2.1 Normatização.....	09
2.3 A Elementos da linha de transmissão aérea.....	09
2.3.1 Suporte.....	10
2.3.2 Cadeia de isoladores.....	11
2.3.3 Cabo fase ou cabo condutor.....	13
2.3.4 Cabo para-raios ou cabo-guarda.....	15
2.3.5 O sistema de aterramento.....	15
2.4 Padronização e classificação das torres treliçadas.....	17
2.4.1 Faixa de passagem ou de segurança.....	19
2.5 Custos.....	24
Capítulo 3 O ESPAÇO URBANO	26
3.1 Introdução	26
3.2 O espaço urbano	28
3.2.1 A arquitetura, o homem e a cidade	29
3.3 A LT de energia elétrica e suas consequências no meio urbano.....	31
Capítulo 4 O DESIGN	42
4.1 Introdução	42
4.2 O design e sua essência	43
4.2.1 O ponto de partida	44
4.3 O design além do design	46
4.3.1 A relação da cidade com o design	49

Capítulo 5 A PROPOSTA	55
5.1 Introdução	55
5.2 A necessidade de mudança	56
5.2.1 Novas ideias: concursos e competições pelo mundo	59
5.3 Processo de criação	61
5.3.1 A escolha do material	62
5.4 O conceito	64
5.5 O desenvolvimento do projeto	65
5.5.1 Considerações sobre a estrutura	72
5.3.2 A relação da estrutura com o meio	74
Capítulo 6 DESEMPENHO ELÉTRICO FRENTE A DESCARGA ATMOSFÉRICA	78
6.1 Introdução	78
6.2 Mecanismos de desligamentos de linha de transmissão	79
6.3 O desempenho elétrico para a nova torre	82
6.3.1 Análises no Flash	84
Capítulo 7 O DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA	90
7.1 Introdução	90
7.2 Carregamentos	90
7.2.1 Ações verticais	91
7.2.2 Forças longitudinais	92
7.2.3 Forças transversais	93
7.3 Hipóteses de carregamento	94
7.4 Dimensionamento estrutural	96
7.4.1 Obtenção dos carregamentos	98
7.4.2 Resultado	98
Capítulo 8 O CÁLCULO DA FAIXA DE PASSAGEM	102
8.1 Introdução	102
8.2 Os parâmetros	102
8.3 O cálculo da faixa de passagem	103
8.3.1 Conclusão	110
Capítulo 9 CONSIDERAÇÕES FINAIS	111
9.1 Introdução	111
9.2 Conclusão	111
9.3 Proposta de continuidade	113
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	115
APÊNDICE A – ANÁLISE DE DESEMPENHO NO FLASH	118
1 Introdução	118
2 Análise com diferentes parâmetros	119

APÊNDICE B - FORÇAS DE VENTO NO SUPORTE	122
1 Introdução	122
2 A ação do vento no suporte	122
APÊNDICE C - MONTAGEM DAS HIPÓTESES NO SAP 2000	125
1 Introdução	125
2 Nomenclatura adotada para cada hipótese de carregamento.....	125
3 Combinações geradas para cada hipótese de carregamento.....	127
APÊNDICE D - ESPECIFICAÇÕES DA LT	129
1 Introdução	129
2 Informações base para o cálculo dos carregamentos	129
APÊNDICE E - HIPÓTESES DE CARREGAMENTO	132
1 Introdução	132
2 Hipóteses de carregamentos - Combinações.....	132

Lista de Figuras

	Página
Capítulo 2 A LINHA DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	05
2.1 A distribuição de energia elétrica no Brasil.....	07
2.2 Mapa do sistema de transmissão - horizonte 2015.....	08
2.3 Processo de montagem da torre monotubular.....	10
2.4 Processo de montagem da torre treliçada.....	11
2.5 Cadeia de suspensão simples.....	12
2.6 Montagem da cadeia de fixação.....	12
2.7 Cabo condutor tipo CA de formação 7 Al.....	13
2.8 Cabo condutor CAA de formação 6 Al - 1 Aço.....	14
2.9 Potencial de passo.....	16
2.10 Potencial de toque.....	17
2.11 Classificação a partir do formato da torre.....	18
2.12 Classificação a partir da disposição do cabo-fase.....	18
2.13 Classificação a partir da funcionalidade estrutural.....	19
2.14 Divisão da faixa de passagem em áreas "A", "B" e "C"	20
2.15 Dimensão da faixa de segurança.....	22
Capítulo 3 O ESPAÇO URBANO	26
3.1 LT do bairro Buritis que teve a torre contornada por muros para abrigar um estacionamento na faixa de segurança.....	34
3.2 Morro do Papagaio - Belo Horizonte.....	35
3.3 PBH remove famílias que moram sob linhas de transmissão de energia.....	36
3.4 Torre de transmissão do bairro Cidade Industrial (2010/15) - Contagem.....	36
3.5 Trecho da linha de transmissão de energia que passa pela Rua Júlio Conceição e pela Rua Nelson da Fonseca, Senador Camará – RJ.....	37
3.6 Apropriação indevida e de risco.....	38
Capítulo 4 O DESIGN	42
4.1 Transição do design como preocupação central para um design que é resultado de outros fatores.....	46
4.2 Antenas - Arte urbana feita por Eduardo Srur.....	48
4.3 Exemplificação da monotonia que encontramos em centros urbanos de muitas cidades.....	50
4.4 O processo que deveria ser incluso antes de serem feitas as intervenções no meio ambiente.....	51

4.5	Como é feita a intervenção dos Parklets na cidade.....	51
4.6	Parklets criados na cidade de São Paulo.....	52
4.7	O mesmo espaço, com uma abordagem distinta pode beneficiar de forma diferente a população.....	53
Capítulo 5 A PROPOSTA		55
5.1	Vista lateral do projeto paisagístico.....	57
5.2	Croquis da artista Elena Paroucheva.....	57
5.3	Torre de transmissão de 225 kV na cidade de Amnéville les Thermes– França, que recebeu uma intervenção feita pela artista Elena Paroucheva.....	58
5.4	Processo de transformação da torre.....	59
5.5	Projeto Dancing with Nature.....	60
5.6	As antigas torres que foram implantadas durante os anos de 1920 e o Projeto T-Pylon.....	60
5.7	Bandeira do Brasil e suas formas geométricas.....	62
5.8	Perfis tubulares circulares da Vallourec.....	63
5.9	Processo de fabricação dos perfis tubulares circulares da Vallourec.....	63
5.10	Curvamento de perfis circulares.....	64
5.11	A geometria da bandeira e a torre.....	65
5.12	Desenvolvimento dos primeiros croquis (em planta).....	66
5.13	Desenvolvimento dos primeiros croquis (em elevação).....	66
5.14	Análise da quantidade de perfis para formação da nova estrutura.....	67
5.15	Estudo de novas possibilidades para a base da estrutura.....	67
5.16	Estudo de modificação da cabeça e transformação da base.....	68
5.17	Estudo de forma através de maquete física.....	68
5.18	Evolução da forma ao longo da pesquisa.....	69
5.19	Primeira formato e as formas intermediárias	69
5.20	Quinta forma.....	70
5.21	Vistas da estrutura da torre.....	71
5.22	A estrutura e as geometrias da bandeira do Brasil.....	71
5.23	Subdivisões e elementos que compõe a estrutura.....	72
5.24	Classificação da estrutura.....	73
5.25	Opções de cores individuais.....	74
5.26	Proposta de cores para a estrutura.....	74
5.27	Situação atual (antes) e a nova estrutura inserida no meio urbano (depois)...	75
Capítulo 6 DESEMPENHO ELÉTRICO FRENTE A DESCARGA ATMOSFÉRICA		78
6.1	Causas das perturbações em % no período 2008 e 1º semestre de 2009.....	81

6.2	Hipóteses de arranjo para cabo-guarda.....	85
6.3	Divisão dos dados de entrada do FLASH.....	85
6.4	Ângulo de blindagem que o cabo-guarda faz sobre o cabo condutor em uma LT.....	86
6.5	Dados e resultados da terceira hipótese analisada.....	87
Capítulo 7 O DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA		90
7.1	Ações atuantes na torre.....	91
7.2	Movimentação da cadeia de isoladores.....	92
7.3	Diferença grande entre vãos – desequilíbrio dos esforços.....	93
7.4	Ruptura de cabo e redistribuição de esforços longitudinais.....	93
7.5	Componente transversal da ação dos cabos.....	94
7.6	Caracterização do sistema estrutural da torre.....	97
7.7	A torre e a indicação dos perfis utilizados após o dimensionamento.....	99
Capítulo 8 O CÁLCULO DA FAIXA DE PASSAGEM		102
8.1	Fluxograma da determinação da largura de faixa de segurança.....	104
8.2	Estrutura composta por uma base com 3 módulos e uma altura total de 25,21m.....	105
8.3	Níveis de intensidade dos diferentes fatores considerados na análise.....	107
8.4	Largura da faixa para diferentes alturas das estruturas, de uma LT de 138 kV.....	108
8.5	Faixa de passagem dimensionada para a nova torre de transmissão.....	109
8.6	Largura da faixa de passagem para a nova estrutura.....	110
 APÊNDICE		
		Página
APÊNDICE A – ANÁLISE DE DESEMPENHO NO FLASH		118
A.1	Hipóteses de arranjo 01 e 02.....	118
A.2	Resultado para a Hipótese 01.....	119
A.3	Resultado para a Hipótese 02.....	120
APÊNDICE B - FORÇAS DE VENTO NO SUPORTE		122
B.1	Divisão dos painéis da estrutura.....	123
APÊNDICE E - HIPÓTESES DE CARREGAMENTO		132
E.1	Árvore de cargas para a Hipótese 01.....	132

E.2	Árvore de cargas para a Hipótese 02.....	132
E.3	Árvore de cargas para a Hipótese 03.....	133
E.4	Árvore de cargas para a Hipótese 04.....	133
E.5	Árvore de cargas para a Hipótese 05.....	133
E.6	Árvore de cargas para a Hipótese 06.....	134
E.7	Árvore de cargas para a Hipótese 07.....	134
E.8	Árvore de cargas para a Hipótese 08.....	134
E.9	Árvore de cargas para a Hipótese 09.....	135
E.10	Árvore de cargas para a Hipótese 10.....	135
E.11	Árvore de cargas para a Hipótese 11.....	135
E.12	Árvore de cargas para a Hipótese 12.....	136
E.13	Árvore de cargas para a Hipótese 13.....	136
E.14	Árvore de cargas para a Hipótese 14.....	136
E.15	Árvore de cargas para a Hipótese 15.....	137
E.16	Árvore de cargas para a Hipótese 16.....	137
E.17	Árvore de cargas para a Hipótese 17.....	137
E.18	Árvore de cargas para a Hipótese 18.....	138
E.19	Árvore de cargas para a Hipótese 19.....	138
E.20	Árvore de cargas para a Hipótese 20.....	138
E.21	Árvore de cargas para a Hipótese 21.....	139
E.22	Árvore de cargas para a Hipótese 22.....	139
E.23	Árvore de cargas para a Hipótese 23.....	139
E.24	Árvore de cargas para a Hipótese 24.....	140
E.25	Árvore de cargas para a Hipótese 25.....	140
E.26	Árvore de cargas para a Hipótese 26.....	140
E.27	Árvore de cargas para a Hipótese 27.....	141
E.28	Árvore de cargas para a Hipótese 28.....	141
E.29	Árvore de cargas para a Hipótese 29.....	141
E.30	Árvore de cargas para a Hipótese 30.....	142
E.31	Árvore de cargas para a Hipótese 31.....	142

Lista de Tabelas

	Página
Capítulo 2 A LINHA DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	05
2.1 Distâncias verticais mínimas (m) entre o cabo condutor e o solo.....	15
2.2 Faixa de passagem, valores de L1, L2 e L3.....	21
2.3 Distância do condutor - Vegetação.....	23
 Capítulo 6 DESEMPENHO ELÉTRICO	 78
6.1 Relação de desligamento máximo com a tensão de operação da Linha de Transmissão.....	80
 Capítulo 7 O DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA	 90
7.1 Seção dos perfis e os respectivos comprimentos para montagem da torre....	100
 APÊNDICE	
	Página
 APÊNDICE B - FORÇAS DE VENTO NO SUPORTE	 123
B.1 Força total “F” em cada painel – Vento extremo.....	124
B.2 Força total “F” em cada painel – Vento de tormentas elétricas.....	124
 APÊNDICE D - ESPECIFICAÇÕES DA LT	 129
D.1 Trações nos cabos por hipóteses.....	130
D.2 Pressão de vento nos cabos.....	130

Lista de Símbolos

Letras romanas maiúsculas

- E - módulo de elasticidade do aço (205000 MPa), à 20°C;
- H - distância entre o condutor e a vegetação;
- L1 - largura da área A;
- L2 - largura da área B;
- L3 - largura da área C;

Lista de Abreviaturas e Siglas

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas;
ABRADEE – Associação Brasileira de Distribuição de Energia Elétrica;
AL – Alumínio;
ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica;
CA – Cabos de Alumínio;
CAA – Cabos de Alumínio com Alma de Aço;
CE – Campo Elétrico;
CELG – Nome da concessionária de energia elétrica do estado de Goiás;
CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais;
CM – Campo Magnético;
COMB – Combinação;
COPEL – Companhia Paranaense de Energia;
FEEMA – Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente;
HDA – HugDuttonAssociés;
IEC – International Engineering Consortium;
LIGHT – Nome da concessionária de energia elétrica da cidade do Rio de Janeiro;
LT – Linha de Transmissão;
LTA – Linha de Transmissão aérea;
LTS – Linha de Transmissão Subterrânea;
MUBE – Museu Brasileiro da Escultura;
NBR – Norma Brasileira;
ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico;
PBH – Prefeitura de Belo Horizonte;
RA – Ruído Audível;
RI – Rádio Interferência;
SIN- Sistema Interligado Nacional;

Capítulo 1

Introdução

1.1 Considerações iniciais

Desde a sua descoberta, a energia elétrica tem sido submetida a inúmeras transformações no processo de geração e nas formas de armazenagem e distribuição, tornando-se um bem fundamental para o desenvolvimento humano e o bem-estar da sociedade, com demanda sempre crescente. Visando uma melhor qualidade e redução dos gastos do sistema elétrico e do custo final da energia, o setor produtivo vive em contínuo processo de evolução em busca de soluções cada vez mais otimizadas.

No Brasil, a quase totalidade da energia elétrica gerada, segundo dados do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS [27]), provém de usinas hidroelétricas e termoeletricas. Essa energia é transportada através de um sistema que faz a interligação entre as usinas e os centros consumidores por meio de linhas de transmissão de energia que, na maioria das vezes, são aéreas, com cabos que se apoiam em suportes (torres ou postes), e, em algumas situações específicas, subterrâneas, com cabos que são colocados dentro de dutos.

As usinas geradoras de energia localizam-se em diferentes regiões, sendo elas as responsáveis pelo fornecimento de energia elétrica para todo o país. Devido à vasta extensão territorial do Brasil, o sistema de transmissão precisa percorrer grandes distâncias para atender toda a demanda.

O crescimento das cidades, a falta de planejamento, aspectos econômicos e o constante aumento da demanda energética fazem com que, muitas vezes, as torres das linhas de transmissão aéreas (LTA's) cruzem espaços urbanos, sendo que, em alguns casos, esses espaços são densamente povoados. Nessas situações, é utilizado o mesmo projeto de torre dos ambientes rurais, de aspecto visual rudimentar e pouco agradável. Como

consequência, a população no entorno fica prejudicada, pois perde espaços que poderiam ser aproveitados para obras de melhoria da qualidade de vida (praças, escolas, centros comunitários, alargamento de vias, etc.) e ainda tem seus imóveis desvalorizados.

Pelas razões citadas e por outras que ainda serão mencionadas neste trabalho, propõe-se aqui um novo projeto para as torres urbanas de LTA's de energia no qual o design é trabalhado para harmonizar a relação da estrutura com o ambiente urbano e com a população.

1.2 Objetivos e relevância

Este trabalho tem como objetivo geral discutir os elementos que envolvem as torres de transmissão de energia elétrica inseridas no contexto urbano.

Com base neste panorama e com o objetivo de aprofundar as discussões no que se refere à deterioração da paisagem urbana, o trabalho apresenta uma nova alternativa passível de ser aplicada pelas concessionárias de energia elétrica em empreendimentos específicos para áreas urbanas. Sendo assim, este trabalho mostra a necessidade de um contínuo aprimoramento tecnológico na busca por inovações que possibilitem ganhos tanto para o empreendedor como para a sociedade como um todo.

Por fim, o trabalho apresenta uma nova solução para as torres de transmissão de energia destinadas ao cenário urbano brasileiro, onde a intenção é cumprir todas as funções de uma torre convencional, causando menor impacto ao meio e à sociedade, podendo substituir, sempre que possível, as linhas de transmissão subterrâneas, que são muito dispendiosas.

1.3 Organização do Texto

O presente trabalho está dividido em nove capítulos, incluindo este capítulo introdutório. Os demais capítulos são descritos a seguir.

O Capítulo 2 apresenta informações sobre a produção de energia elétrica no Brasil e os principais elementos que compõem uma linha de transmissão aérea.

O Capítulo 3 traz as questões envolvidas na implantação de uma linha de transmissão aérea em áreas urbanas e a relação do espaço com a intervenção feita.

O Capítulo 4 mostra alguns princípios básicos sobre o design e como ele foi utilizado para conceber o novo formato das torres de transmissão inseridas no contexto urbano.

O Capítulo 5 aborda o processo de concepção do design da torre até a chegada da forma final.

O Capítulo 6 apresenta informações referentes ao desempenho elétrico de uma linha de transmissão frente a descargas elétricas. Ele também mostra as simulações realizadas para obter o melhor posicionamento do cabo para-raios para atender tanto aos parâmetros do novo projeto quanto aos níveis de desempenho elétrico para uma linha de 138 kV.

O Capítulo 7 contempla o dimensionamento estrutural da torre.

O Capítulo 8 apresenta uma simulação feita após o dimensionamento da torre para obtenção da largura da faixa de passagem estimada da nova configuração da estrutura proposta.

Por fim, o Capítulo 9 traz as principais conclusões deste trabalho.

“A História é apenas o esforço desesperado dos homens para dar corpo aos mais claros dos seus sonhos” (Albert Camus)

Capítulo 2

A LINHA DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

2.1 Introdução

Uma das primeiras linha de transmissão de energia de que se tem registro no Brasil, tinha 2 km de extensão e foi construída por volta de 1883, na cidade histórica de Diamantina (Minas Gerais). ANEEL[1]

A linha de transmissão (LT) de energia elétrica é um componente fundamental da infraestrutura e um elemento de vital importância para o cenário energético de um país, pois possibilita o transporte de energia das fontes geradoras até os centros de consumo. Tal característica é importante em um país como o Brasil, onde a matriz energética é dominada pela energia hidrelétrica.

Essa é uma área que demanda multidisciplinaridade em todos os estágios, desde os estudos iniciais para conceber a LT até sua fase de operação. Exatamente por envolver diferentes áreas do conhecimento, e por se tratar de um bem fundamental tanto para atender as necessidades básicas da população, quanto para impulsionar o progresso do país, as LT's tornam-se atrativas para o desenvolvimento de pesquisas que buscam melhorias dos sistemas existentes e para os que ainda serão implantados.

No Brasil, em maior quantidade, existem estudos voltados para a otimização dos parâmetros elétricos, estruturais e, conseqüentemente, das áreas que sofrem restrições devido à ocupação da LT. Neste trabalho, o foco principal é a abordagem estética para a estrutura da torre das LT's urbanas, algo que ainda não foi desenvolvido no Brasil, porém fora do país é assunto de muitos estudos, havendo inclusive propostas já executadas com êxito. Esses estudos feitos no exterior foram utilizados como elementos de apoio para a criação de um novo projeto de torre de transmissão, feito para ser utilizado no Brasil.

O projeto busca atender a requisitos estéticos, apresentando um novo design e significado para a estrutura em relação ao espaço urbano brasileiro. Além disso, atenderá aos requisitos de planejamento do sistema da LT no Brasil, ou seja, transmitir uma determinada potência, com baixo impacto ambiental e social e, bons índices de confiabilidade.

2.2 A energia elétrica no Brasil

“O sistema de distribuição de energia é aquele que se confunde com a própria topografia das cidades, ramificado ao longo de ruas e avenidas para conectar fisicamente o sistema de transmissão, ou mesmo unidades geradoras de médio e pequeno porte, aos consumidores finais da energia elétrica”. Associação Brasileira de Distribuição de Energia Elétrica (ABRADEE)

As LT's compõem um sistema elétrico que engloba três fases: produção, transmissão e distribuição da energia aos consumidores finais (Figura 2.1). Após a produção da energia nas usinas geradoras, o transporte e a interligação entre as centrais de distribuição, são realizados através das linhas de transmissão, que podem operar em diferentes classes de tensões, sendo 69 kV, 138 kV, 230 kV, 345 kV, 440 kV, 500 kV e 765 kV as tensões típicas aplicadas no Brasil.

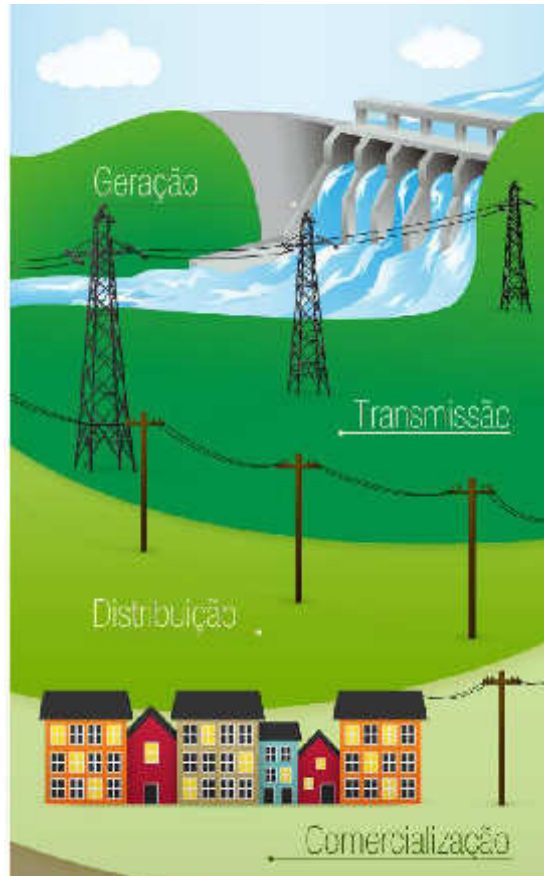


Figura 2.1: A distribuição de energia elétrica no Brasil.

Fonte: <http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2014/08/entenda-como-a-energia-eletrica-chega-a-sua-casa>

Segundo CHAVES[8], a instalação de centrais de geração de energia elétrica a partir do potencial hidráulico, geralmente próximas das quedas de água e longe dos centros de consumo, implicou na necessidade imediata de expansão das linhas de transmissão. Outros fatores complementares que devem ser considerados são a extensão territorial do Brasil e a crescente demanda de energia elétrica. A associação de todos esses fatores configura a grande necessidade de empreendimentos de transmissão cada vez mais grandiosos, seja para expansão ou para a criação de uma nova LT. Na Figura 2.2, é possível ver as LT's existentes e as novas instalações previstas para o ano de 2015, que cortam diferentes regiões do país.

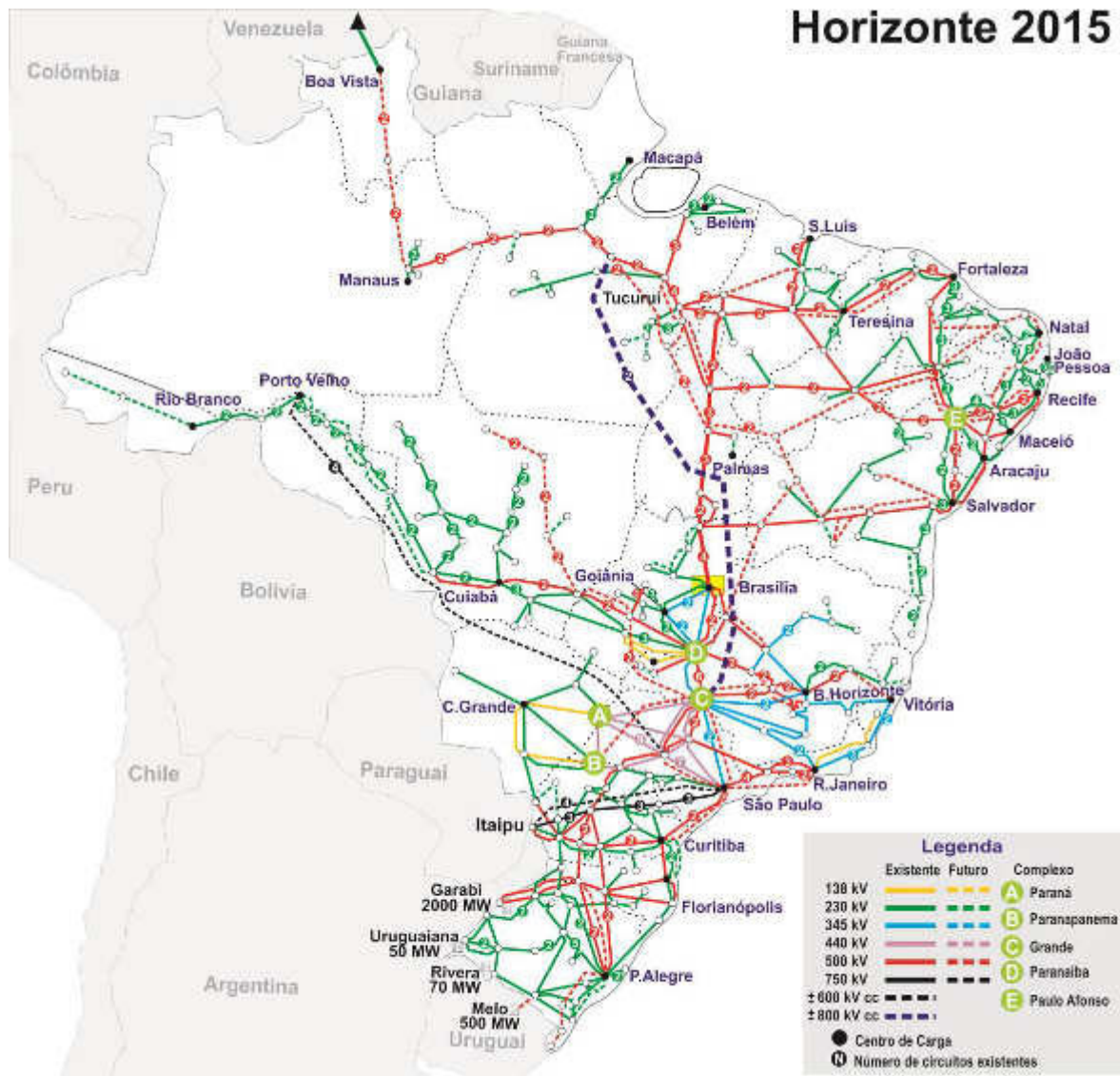


Figura 2.2: Mapa do sistema de transmissão - horizonte 2015. (Fonte: ONS)

Esse transporte de energia pode ser realizado de dois modos: aéreo ou subterrâneo. As linhas aéreas apresentam em geral, condutores nus, suportados por estruturas, das quais são isolados através de isoladores. As linhas subterrâneas, em geral apresentam cabos isolados, instalados em redes de dutos. O transporte aéreo é o modo mais empregado, pois geralmente é a solução que apresenta custos de implantação, manutenção e de reparação mais baixos, fazendo com que o transporte subterrâneo praticamente só seja feito nos centros urbanos que sofrem com a falta de espaço. MOREIRA[23], aponta que nas grandes cidades, principalmente, devido às crescentes exigências ambientais por parte da população e à compatibilização com as estruturas urbanas, adotam-se as linhas de transmissão subterrâneas, que são normalmente construídas sob as vias públicas.

2.2.1 Normatização

Segundo o ONS[27], a principal diretriz para o projeto de novas linhas de transmissão é considerar que serão integradas ao sistema existente, e a ele deverão adaptar-se sem comprometer ou limitar a sua operação nem impor restrições operativas às demais instalações do Sistema Interligado Nacional (SIN). Desse modo, para que não haja o comprometimento da transmissão de energia é importante conhecer algumas normas e especificações do setor de transmissão.

Os projetos são orientados pela norma brasileira ABNT NBR 5422:1985 [4], referente à criação de projetos de linhas de transmissão. Atualmente, essa norma passa por um processo de revisão, fazendo com que muitas concessionárias busquem algumas orientações na norma internacional IEC 60826 [19].

Com o intuito de complementar as normas vigentes, existem algumas especificações feitas pelos órgãos reguladores do setor de transmissão e energia. Neste trabalho, por exemplo, para o cálculo de alguns parâmetros elétricos da linha, foi utilizado o submódulo 2.4 da ONS[27] feito para LT's de tensão igual ou maior que 230 kV. Porém é importante salientar que o ideal seria a utilização da resolução normativa nº398 da ANEEL[1], que possui especificações para a tensão de 138 kV, a mesma deste trabalho, mas essa resolução não contempla todos os parâmetros elétricos desejados, (ver Capítulo 8), por isso a necessidade de recorrer às prescrições do submódulo citado.

2.3 Elementos da linha de transmissão

As linhas de transmissão de energia elétrica são compostas fundamentalmente de duas partes distintas que podem ser classificadas em ativa e passiva. Os cabos-fase, que são agentes do transporte de energia, representam a parte ativa da linha; já isoladores, ferragens e a estrutura constituem a parte passiva. Para melhor entendimento, todos esses elementos são descritos a seguir.

2.3.1 Suporte

Ao longo das LT's aéreas, existem estruturas que são chamadas de suporte e que têm como função fornecer sustentação aos cabos condutores e para-raios, e são dimensionadas para suportarem os esforços mecânicos e transmiti-los à fundação. Além disso, o suporte serve para manter o espaçamento entre os cabos, respeitando uma distância elétrica compatível com o nível de tensão. Tais estruturas são, em geral, torres treliçadas com perfis de aço galvanizado ou postes de aço, concreto ou madeira. GONTIJO[17]

Quando a tensão é igual ou menor que 138 kV, é comum o uso de suportes do tipo poste, composto por peças metálicas modulares de seção transversal em forma de polígono fechado que se encaixam umas nas outras, atingindo assim uma altura aproximada de 60 metros. A vantagem desse tipo de suporte é que eles são bastante compactos, de aspecto visual menos impactante e possuem base de dimensões reduzidas, possibilitando instalação em canteiros centrais ou mesmo em calçadas laterais nas avenidas e ruas.

A Figura 2.3 mostra o processo de montagem de um poste monotubular, e segundo a SECCIONAL[30], a opção por esse tipo de suporte permitiu executar a obra em um espaço reduzido, com número menor de equipamentos pesados e facilidade para transportar e montar.



Figura 2.3: Processo de montagem da torre monotubular. (SECCIONAL[26])

Já para tensões superiores ou iguais a 138 kV, normalmente emprega-se o suporte do tipo torre, formado por treliças metálicas modulares, que permitem obter uma estrutura, leve e com um bom comportamento mecânico. Além disso, esse tipo de estrutura, ao contrário dos suportes monotubulares, chega a ultrapassar os 100 metros de altura, possibilitando assim maior versatilidade do projeto. A Figura 2.4 mostra o processo de montagem de uma torre treliçada.



Figura 2.4: Processo de montagem da torre treliçada. (Adaptado de OLIVEIRA[26])

2.3.2 Cadeias de isoladores

Em uma LTA existe um elemento que tem como finalidade atuar no isolamento, ou seja, ele não permite o contato elétrico entre os perfis da torre e o cabo-fase, chamado de cadeia de isoladores. De modo geral, esse componente da linha é composto por isoladores que são instalados em conjunto, que juntamente com as ferragens, dão sustentação e isolamento ao cabo-fase em relação à torre. Na Figura 2.5 é possível ver, de forma detalhada, a composição de uma cadeia de isoladores.

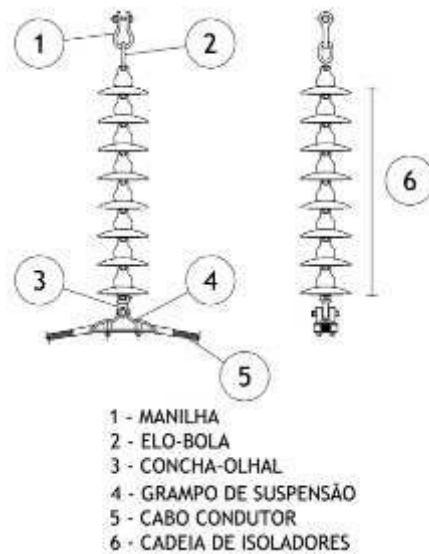


Figura 2.5: Cadeia de suspensão simples.

A cadeia de isoladores é dimensionada através de informações básicas captadas na fase inicial do projeto da linha. Ela é projetada para suportar as cargas mecânicas transmitidas pelo cabo-fase e as solicitações elétricas pelas sobretensões (situação em que, por algum motivo, a tensão elétrica excede o valor previsto para a instalação) que podem ocorrer em uma LT. Em geral, nas LT's de alta tensão, os isoladores que compõem a cadeia, podem ser de vidro ou porcelana, ou poliméricos. A Figura 2.6 mostra uma cadeia formada por isoladores de vidro que é bastante empregada em linhas cuja tensão é igual ou superior a 138 kV.



Figura 2.6: Montagem da cadeia de fixação. (Fonte: www.sanden.ind.br)

2.3.3 Cabo fase ou cabo condutor

Para tornar possível a transmissão de energia elétrica entre as usinas geradoras e as centrais de distribuição, existe o cabo-fase, também conhecido como cabo condutor. Esse cabo é considerado o elemento ativo de uma LT, pois tem por finalidade transportar a energia elétrica, e pode trabalhar suspenso ou tracionado, dependendo da função do suporte ao longo da linha.

No caso da LTA, os cabos são nus, e sem isolamento, podendo ser de alumínio, liga de alumínio-aço e alumínio com alma de aço. A utilização do alumínio se deve à abundância, boa condutibilidade e principalmente ao custo desse material, que é inferior ao de outros metais, como o cobre por exemplo. Existem no mercado tipos de cabos condutores variados e, durante o processo do projeto da linha, a escolha não está ligada somente a aspectos técnicos, mas também econômicos.

Existem diferentes tipos de cabo-fase, a seguir, encontram-se dois exemplos de cabos empregados em uma LTA:

- **CA** (“Cabo de Alumínio”), é composto por vários fios de alumínio encordoados (ver Figura 2.7). Para atender a diferentes tipos de projeto, o cabo é fornecido com uma quantidade variada de fios encordoados.

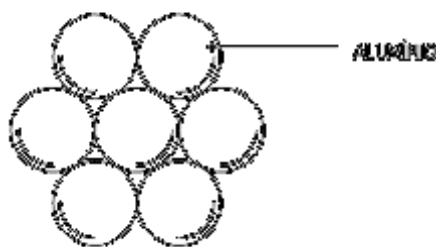


Figura 2.7: Cabo condutor tipo CA de formação 7 Al.

- **CAA** (“Cabo de Alumínio com Alma de Aço”), é composto por uma ou mais camadas de fios de alumínio ao redor de uma alma de aço galvanizado (ver Figura 2.8). A fim de se obter, para cada tipo de aplicação, a melhor proporção de

alumínio e aço, a dimensão do cabo pode variar devido às diferentes combinações possíveis de fios de alumínio e aço.

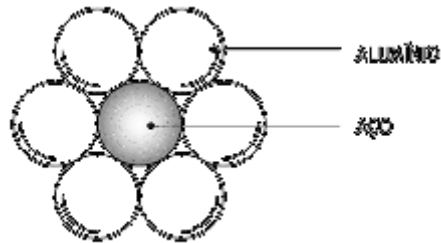


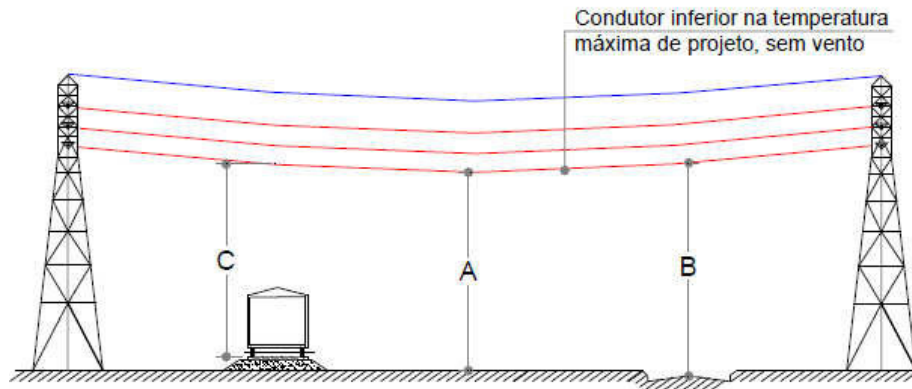
Figura 2.8: Cabo condutor CAA de formação 6 Al - 1 Aço.

O cabo CAA, em relação ao CA, possui a menor relação peso/carga de ruptura e menores flechas, mas apresenta maior resistência elétrica, devido à presença do aço em seu interior. Outro fator que diferencia esses dois tipos de cabos é que o CAA produz um esforço mecânico no suporte maior que o CA, tornando assim as estruturas mais robustas e com custos mais elevados.

Por fim, pode-se dizer que a escolha adequada do tipo de cabo-fase em uma LTA é bastante complexa, pois devem ser considerados, de forma conjunta, itens como o custo do condutor e as características mecânicas.

Outro fator que pode influenciar na escolha do tipo de cabo-fase é a flecha máxima do cabo no meio do vão entre as torres de uma linha de transmissão, que depende da temperatura e do vão. É a partir da determinação dessa flecha máxima, feita a partir de prescrições da norma ABNT NBR 5422:1985[4], que é obtida a altura mínima do condutor, conhecida como distância cabo-solo, de modo a garantir a segurança da linha e de terceiros. Essa altura é altamente influenciada pela tensão de operação e pelo uso e ocupação do solo embaixo da linha, como mostra a Tabela 2.1.

Tabela 2.1: Alturas mínimas (m) entre o cabo condutor e o solo. (Fonte: CELG)



Natureza da região	Distância	69 kV		138 kV		230 kV	
		NBR-5422	CELG	NBR-5422	CELG	NBR-5422	CELG
Locais acessíveis apenas a pedestres	A	6,00	7,00	6,30	7,50	6,83	8,00
Locais onde circulam máquinas agrícolas		6,50	7,50	6,80	8,00	7,33	8,50
Ruas, avenidas e estradas rurais	B	8,00	8,00	8,30	8,50	8,83	9,00
Rodovias		8,00	10,00	8,30	10,00	8,83	10,00
Ferrovias não eletrificadas	C	9,00	9,00	9,30	9,70	9,83	10,70
Ferrovias eletrificadas ou com previsão de eletrificação		12,00	12,00	12,30	12,70	12,83	13,70

2.3.4 Cabo para-raios ou cabo-guarda

Por se encontrar ao tempo, a linha de transmissão está sujeita a ação de diferentes fatores, como poluição, vento, chuva e descargas atmosféricas. Com a função de fazer a blindagem dos cabos energizados da linha contra a incidência direta de descargas atmosféricas, existe o cabo-guarda, ou cabo para-raios como também é conhecido, localizado na parte superior da torre de transmissão. Esse cabo fornece um caminho de menor resistência até o solo para as descargas, diminuindo assim as possibilidades de desligamentos da linha e a consequente interrupção do fornecimento de energia elétrica.

2.3.5 O sistema de aterramento

O sistema de aterramento de uma linha de transmissão tem como objetivo permitir o escoamento de cargas ou correntes de descarga até o solo de forma segura, impedindo assim a energização do suporte que fica exposto ao contato de pessoas e animais.

Dependendo da magnitude do campo elétrico no solo provocado por uma sobretensão, o sistema de aterramento pode apresentar alguma falha, provocando assim situações indesejadas, como o potencial de passo e o de toque.

O potencial de passo é a diferença de potencial que aparece entre dois pontos situados na superfície do solo, distanciados por um passo de uma pessoa ou de um animal (Figura 2.9).

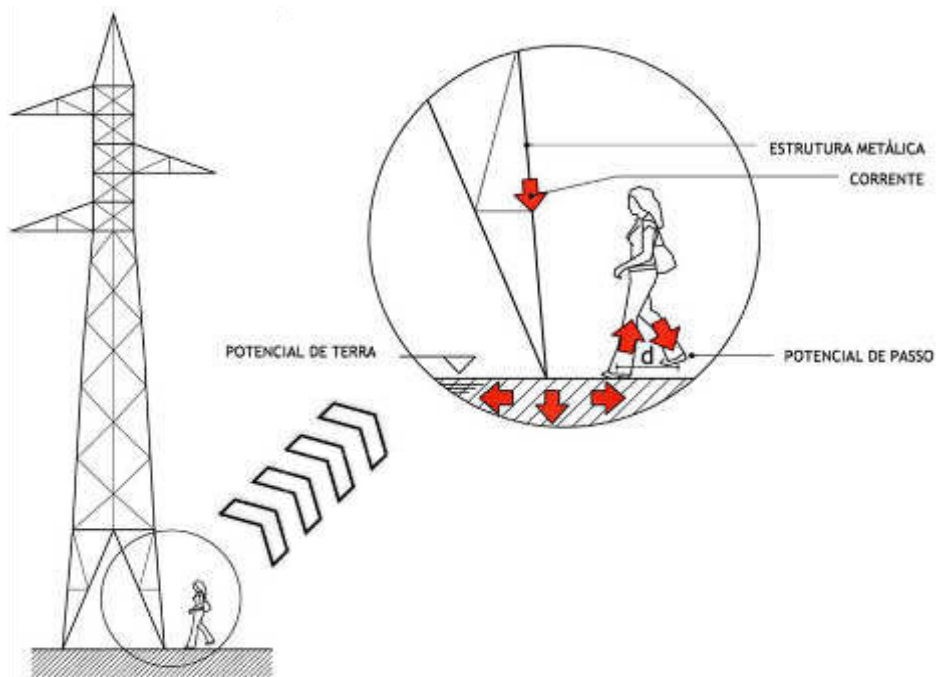


Figura 2.9: Potencial de passo.

O potencial de toque é a diferença de potencial que aparece entre um ponto do suporte metálico aterrado situado ao alcance da mão de uma pessoa e um ponto da superfície do solo, fazendo com que o corpo acaba se tornando um caminho de descida até o solo para as cargas (ver Figura 2.10).

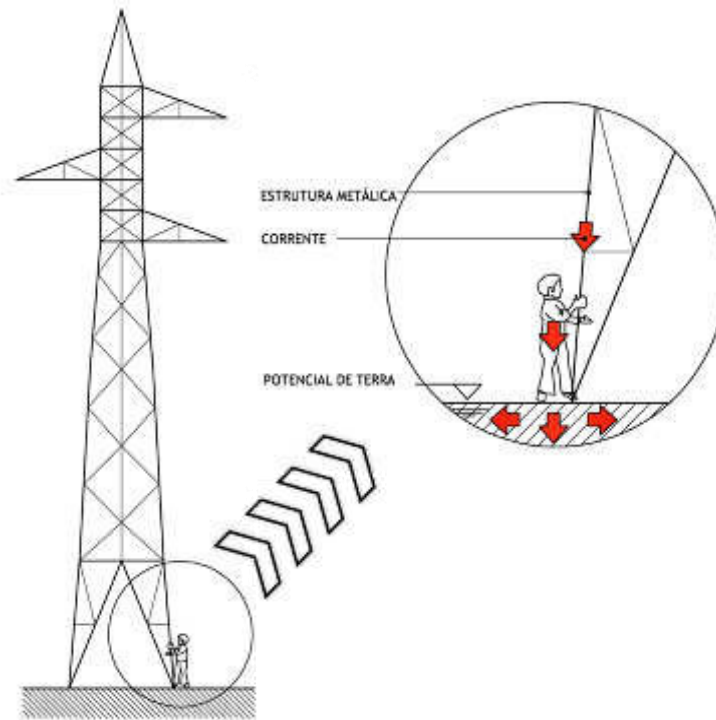


Figura 2.10: Potencial de toque.

Os elementos que compõem o sistema de aterramento, tais como: conjunto de hastes, contrapeso (condutor enterrado no solo ao longo da faixa de passagem da linha), conectores e, cabos para-raios são instalados junto aos suportes de uma LT. São componentes essenciais no que se refere ao desempenho adequado da linha de transmissão frente aos surtos de manobra, curtos-circuitos e descargas atmosféricas, além de garantir a segurança de terceiros que estejam dentro da faixa de passagem da LT em alguma das situações citadas.

2.4 Padronização e classificação das torres treliçadas

O “design” das torres segue na maioria dos casos uma forma padronizada, composta por uma estrutura espacial treliçada de aço. Principalmente por questão de economia, as estruturas são padronizadas em Famílias de Torres, que são compostas por subestruturas iguais ou similares. Devido à padronização dos projetos de torre de transmissão, é possível classificá-las através de alguns aspectos técnicos, tais como:

- o formato, como mostra a Figura 2.11;

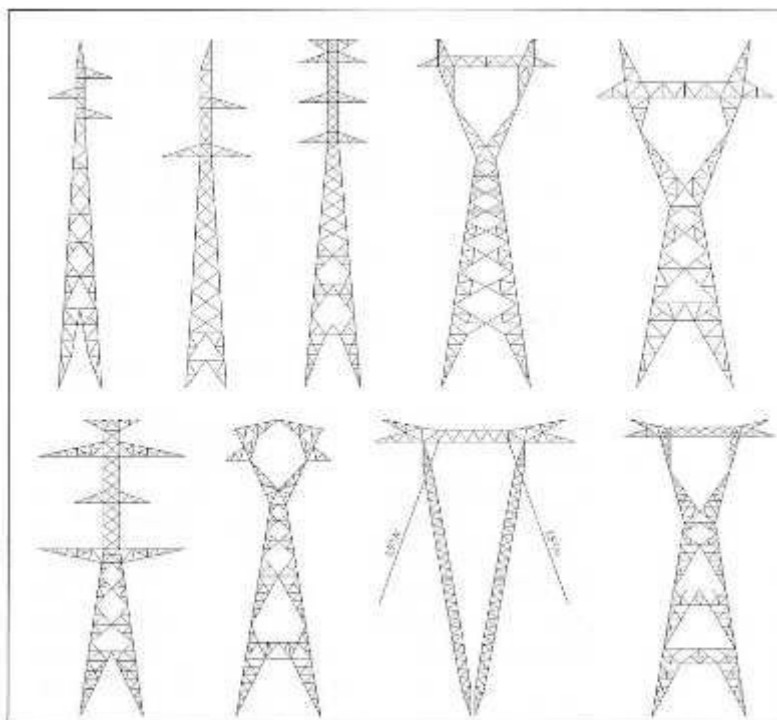


Figura 2.11: Classificação a partir do formato da torre. (GONTIJO[17])

- a disposição dos cabos condutores; que pode ter forma triangular, vertical ou horizontal (ver Figura 2.12);

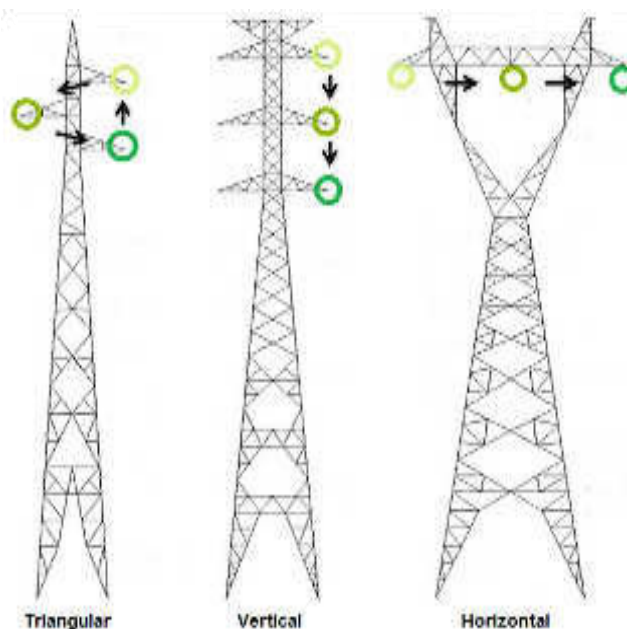


Figura 2.12: Classificação a partir da disposição do cabo-fase. (adaptado de GONTIJO[17])

- o número de circuitos; que pode ser um ou mais;

- a função estrutural da linha; que por sua vez pode ser de suspensão (são suportes dimensionados para resistir aos esforços verticais devido ao peso dos cabos, isoladores e das ferragens), ancoragem (são suportes dimensionados para resistir aos esforços decorrentes do tensionamento dos cabos), em ângulo (são suportes projetados para situações que a linha necessita de mudança de direção), além de suportarem o efeito do vento;
- a forma de trabalho das estruturas, ou seja, a forma de resistir aos esforços que lhes são impostos, assim podendo ser classificadas como estaiadas (usada geralmente para suspensão) ou autoportantes (usadas para todas as funções da linha), como mostra a Figura 2.13;

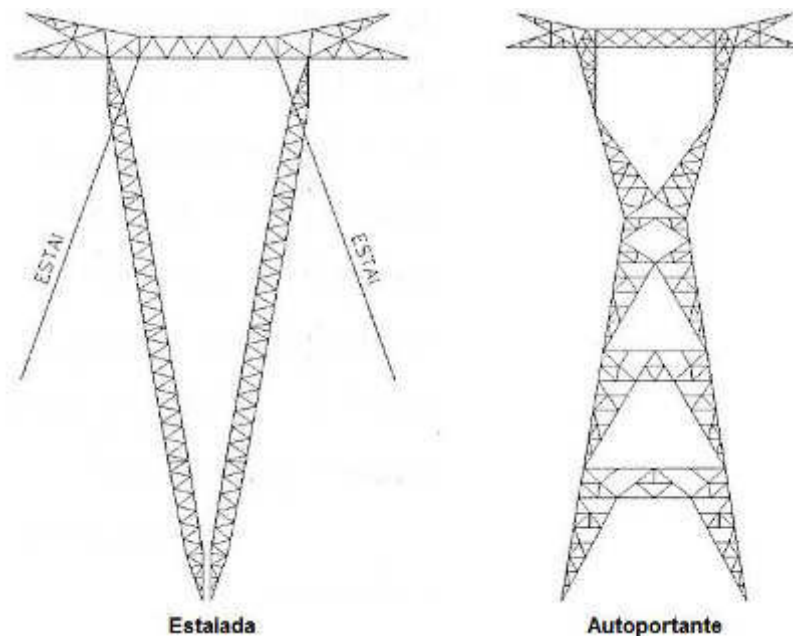


Figura 2.13: Classificação a partir da funcionalidade estrutural. (GONTIJO[17])

- a tensão nominal da linha de transmissão; que é a tensão de operação, sendo mais utilizadas as de 138kV, 230kV, 345kV, 500kV e 765kV.

2.4.1 Faixa de passagem ou de segurança

A faixa de passagem, também chamada de faixa de segurança, é uma área de terreno ao longo da linha de transmissão, pertencente ou não à concessionária, com a largura definida de acordo com os critérios e parâmetros voltados para LT's. A ELEKTRO[13] ressalta que o principal objetivo da faixa de passagem de uma linha de transmissão é garantir as

condições necessárias para a sua construção, operação, inspeção e manutenção, assim como também a segurança das pessoas, das equipes de manutenção e de terceiros.

Pode-se classificar a faixa de passagem de dois modos, como explicado a seguir: CELG[7]

- faixa de domínio: é a faixa de terreno ao longo da linha de transmissão que sofreu processo desapropriatório por utilidade pública em favor da concessionária, tornando assim, a área que compõem essa faixa de propriedade da concessionária.
- faixa de servidão: é a faixa de terreno ao longo da linha de transmissão, legalmente instituída em favor da concessionária e cuja utilização é regida por contratos de servidão firmados entre os proprietários dos terrenos e a concessionária. A área que compõem a faixa de servidão continua sob o domínio do proprietário, porém impõem-se restrições ao uso e ocupação do solo.

A faixa de passagem é composta por áreas distintas, onde cada uma delas é destinada à uma função específica (Figura 2.14). Suas divisões e finalidades são:

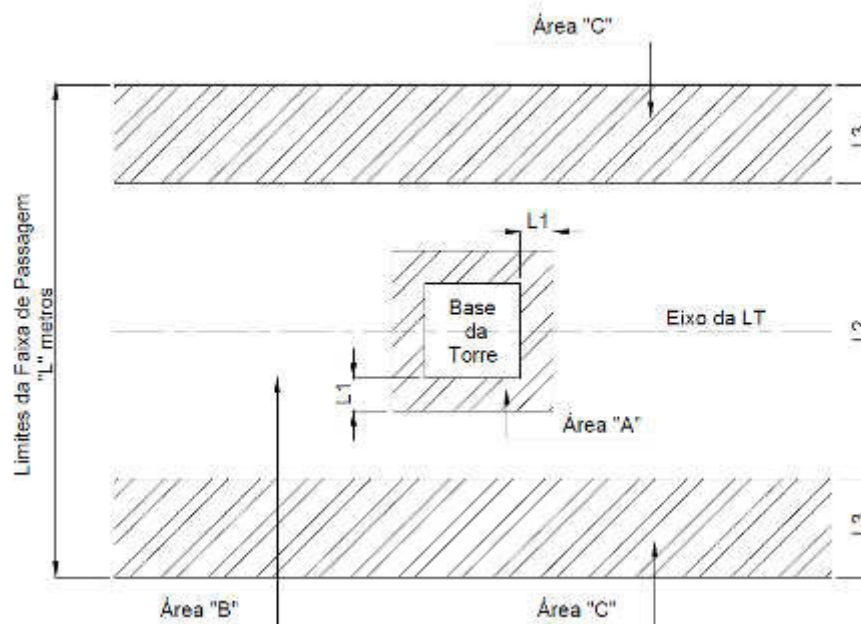


Figura 2.14: Divisão da faixa de passagem em áreas "A", "B" e "C". (Fonte: CELG)

Área “A”: localiza-se no entorno das estruturas da linha de transmissão e destina-se a permitir o acesso das equipes de manutenção com seus respectivos veículos e equipamentos, bem como servir para a instalação de proteção contra abalroamentos às estruturas;

Área “B”: é a faixa de terreno, excluída a área A, que envolve os cabos condutores e destina-se a proporcionar maior segurança à linha e também a terceiros;

Área “C”: é a porção da faixa de passagem, excluindo-se as áreas A e B, cujos limites externos são definidos no projeto da linha de transmissão e destina-se a garantir os limites de campos elétricos e magnéticos, no limite da faixa de passagem, e a evitar acidentes devido a balanço de cabos condutores e para-raios.

Ainda na Figura 2.14, é possível notar algumas larguras com nomenclatura: L1, L2 e L3, onde seus valores, de modo geral, são tabelados por muitas concessionárias, como pode ser exemplificado na Tabela 2.2:

Tabela 2.2: Faixa de passagem, valores de L1, L2 e L3. (Fonte: CELG)

Largura	69 kV	138 kV	230 kV
L1	2 m	2 m	2 m
L2	12 m	16 m	35 m
L3	6 m	6 m	6 m

Segundo a CELG[7], a largura da faixa de segurança varia de acordo com a classe de tensão e o tipo de região atravessada (rural ou urbana). A norma ABNT NBR 5422:1985[4] define os parâmetros mínimos para o dimensionamento da largura da faixa de segurança e das distâncias de segurança da LT, em função da natureza e tipo de utilização do terreno. Existem ainda, como variáveis a serem consideradas, as interferências eletromagnéticas, que podem ser significativas, dependendo da classe de tensão e do arranjo dos condutores da linha.

“Nos projetos das primeiras linhas de transmissão, não se tinha muita variedade de estruturas, de isoladores, de cabos condutores e de cabos para-raios. Por isso, era utilizada

uma única largura de faixa de segurança. Essa prática é adotada pelas concessionárias de energia elétrica, que usualmente adotam a largura da faixa de segurança de uma LT em função do seu nível de tensão. O projeto de novos cabos, sejam condutores ou para-raios, o surgimento de regulamentações e de normas e o aumento da quantidade de linhas de transmissão, com conseqüente redução de espaço para implantação das LT's, proporcionaram a necessidade de se determinar a largura de faixa de segurança necessária à implantação da linha, a partir de alguns critérios pré-estabelecidos". (SOUZA[32])

Como este trabalho propõe um novo formato de torre inserida em área urbana, o passo a passo para determinar a largura da faixa de passagem que será necessária para esta linha encontra-se detalhado no Capítulo 8. Para entender a necessidade dessa análise mais específica, já que busca-se aqui menores impactos socioeconômicos e uma faixa de passagem reduzida, a CELG[7] determina que, as soluções devem ser estudadas caso a caso, de forma a conciliar a largura da faixa com os requisitos operacionais e de segurança requeridos. Para situações especiais de linhas localizadas em áreas urbanas, soluções técnicas mais elaboradas permitem a instalação de linhas em faixas mais estreitas, mediante a adoção de compactação de fases e de circuitos, bem como, a utilização de sistemas de aterramento não convencionais (Figura 2.15).

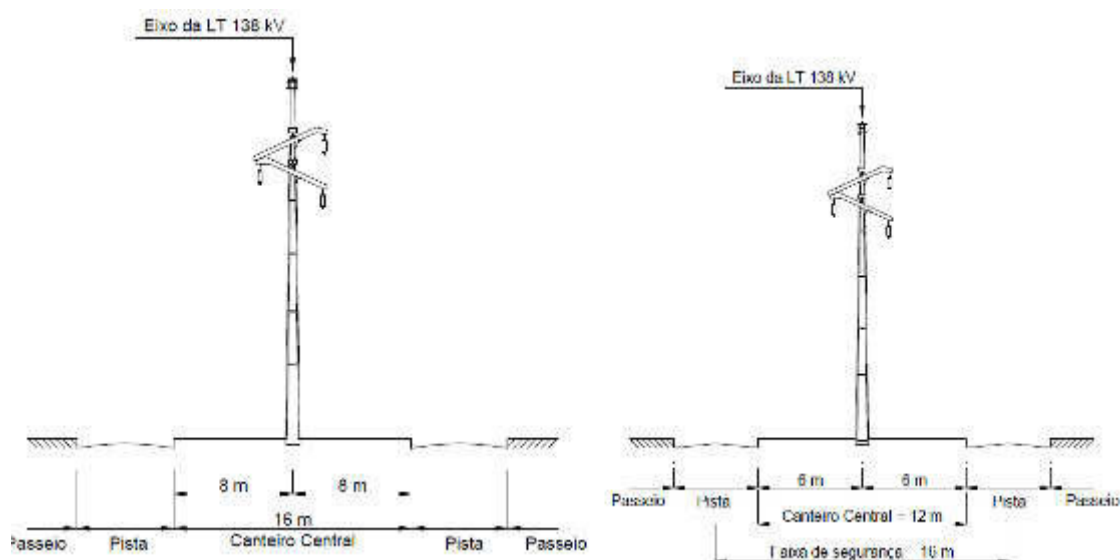


Figura 2.15: Dimensão da faixa de segurança. (Fonte: CELG)

Ao longo dessa faixa, segundo a norma ABNT NBR 5422:1985[4], tem-se permissões e proibições de uso e ocupação do solo. Por exemplo, nas permissões de uso, eventualmente

podem haver exceções no critério de utilização da faixa de passagem da linha de transmissão, as quais serão analisadas e aprovadas ou não, pela gerência da concessionária (ELEKTRO[13]). As vias públicas, tais como: ruas, avenidas, estradas e rodovias podem ocupar parcialmente a faixa de passagem, desde que as mesmas atendam às distâncias de segurança prescritas na norma. Plantações podem ser feitas dentro da faixa de passagem desde que não exista o processo de queimada. Para essas condições, as distâncias mínimas de segurança (H) conforme estabelecidas pela norma devem ser atendidas, como mostra a Tabela 2.3 para a tensão de 138 kV. Pode-se também transitar livremente, inclusive com veículos de pequeno e médio porte.

Tabela 2.3: Distância do condutor para a tensão de operação de 138 kV - Vegetação.

Tensão de Operação - kV	Distância - H (m) (Condutor - Vegetação)
138	4,4

Nas proibições de uso, como critério geral, não é admitida na faixa de passagem da linha de transmissão nenhuma benfeitoria, vegetação e ou atividades, que coloquem em risco a operação da linha, ou que propiciem a permanência ou aglomeração constante ou eventual de pessoas, tais como:

- atividades com permanência constante de pessoas;
- atividades que permitam a aglomeração de pessoas (por exemplo: igrejas, festas, escolas, quadras de esportes, etc);
- instalações e ou construções residenciais de qualquer natureza;
- plantações de qualquer tipo de cultura com altura acima de 2 metros;
- subir nas torres de transmissão ou atirar objetos nos sinalizadores;
- áreas para a prática de esportes ou de lazer.

2.5 Custos

Ponto principal na maioria dos projetos, o custo é um fator crucial e determinante. No caso das LT's, o custo é um item decisivo nos leilões da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), onde um dado montante é estipulado e a concessionária que apresentar o menor valor referente ao fornecido no início do leilão, ganha a licitação da linha.

Para se ter uma noção a respeito dos gastos que uma concessionária de energia tem com a criação de uma LT, foi feito um levantamento com dados de custos aproximados, tendo como parâmetro a Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG).

Uma linha de transmissão aérea (LTA) têm um valor total aproximado de R\$ 250.000,00/km. Por sua vez, as linha de transmissão subterrânea (LTS) têm um custo total muito superior, podendo atingir R\$ 5.000.000,00/km. Verifica-se assim que o valor total desse tipo de intervenção chega a ser 20 vezes mais elevado que a implantação das linhas de transmissão aéreas.

Sabe-se que um novo design de torre terá um custo mais elevado em relação aos modelos convencionais. Porém, deve-se levar em conta que a instalação do modelo proposto ocorrerá apenas nos trechos urbanos da linha. Além disso, com o novo design, linhas de transmissão subterrâneas, que são extremamente dispendiosas, em muitas situações, poderão ser substituídas por linhas aéreas, levando a uma enorme redução de custos.

Na Europa, através de um concurso para criação de um novo design para as torres de transmissão, foi feito um comparativo de custo entre o projeto convencional e o ganhador do concurso, onde a LT convencional tem um custo aproximado de 470.000 €/km e a nova proposta gerou um gasto de 562.000 €/km. O custo é mais elevado porém o novo projeto tem o benefício de proporcionar uma melhor integração das torres com o ambiente. (CIGRE[9])

“Meio ambiente urbano é o processo de troca entre a base natural de uma cidade, a respectiva sociedade ali existente e a infraestrutura construída. Por conseguinte, o ambiente urbano é o resultado de diversos processos de interação entre as três instâncias: a humana ou social, a natural e a construída.” (Deolinda de Sousa Ramalho)

Capítulo **3****O ESPAÇO URBANO****3.1 Introdução**

“As cidades se ampliaram e se desenvolveram expressivamente nos últimos séculos em decorrência da industrialização. Cada vez mais, vêm adquirindo e conservando um caráter de funcionalidade, fundamentado no constante, ininterrupto e rápido processo de fabricação e comercialização de produtos, bem como na oferta de inúmeros serviços públicos e privados. As relações do ser humano como o entorno urbano, conseqüentemente, se complexificaram, tornando-se primordialmente relações prático-utilitárias (são várias as formas de relação que o ser humano pode estabelecer com a realidade: relações teórico-cognitivas; relações prático-utilitárias e prático-produtivas; relações mágicas, místicas ou religiosas; relações econômicas, políticas, jurídicas e morais; relações estéticas; entre outras. Essas relações são privilegiadas diferentemente em contextos sócio-históricos distintos.), ou seja, relações marcadas por uma lógica de consumo”. (FURTADO[16])

As constantes transformações tecnológicas, sociais e econômicas que se processam nas cidades, decorrentes da globalização e da mudança de pensamento da sociedade, financiadas pelo capitalismo industrial promovem uma dissociação entre progresso material e urbanização, economia e território. Tal situação faz com que o destino das cidades esteja nas soluções dos dilemas das sociedades contemporâneas.

Cada vez mais, as cidades conhecem taxas explosivas de crescimento demográfico e evolução, sendo que, em muitos casos, essas taxas não vêm acompanhadas do necessário progresso material e de infraestrutura. Em contrapartida, existem alguns locais que

possuem uma maior concentração de investimentos, seja por questões estratégicas ou políticas, onde a condição urbana decorrente dessa situação consegue usufruir dos melhores recursos de infraestrutura e bem-estar social.

A desigualdade social que gera a diferenciação na qualidade e nos investimentos dos espaços é uma realidade de muitos países, inclusive do Brasil, fazendo com que uma parcela considerável da população não seja pensada, incluída ou até mesmo participe do processo de desenvolvimento dos espaços urbanos. A criação de espaços planejados e voltados para o atendimento das necessidades de todos é fundamental, não só para o desenvolvimento do país, mas também da sociedade, ou seja, onde existem bons investimentos e pensamento coletivo em detrimento do particular, o progresso é uma consequência. De forma complementar ECKARDT[12], diz que:

“Como se tem dito com muita frequência, a ecologia urbana está hoje seriamente perturbada. Não conseguimos dar aos nossos lugares para viver amor e atenção suficientes. Portanto, muitas vezes é pouco demais o que nos pode retribuir”.

A despreparação das cidades sob os aspectos material, social e institucional torna-se um grande desafio para a introdução de novos pensamentos e ideias que possam vir a mudar esse cenário. Neste sentido, o projeto da torre de LT procura estabelecer uma nova abordagem sobre a arquitetura e o design de um equipamento urbano, e com isso favorecer a formação e criar novas relações entre sujeito, objeto e cidade, possibilitando vivências estéticas.

Essas relações nada mais são do que a proposição de uma integração urbana, tornando-se possível através dela a integração social. Para isso é necessário fazer com que as partes do ambiente se ajustem com as necessidades e qualidades específicas do lugar, para que a população se relacione, identifique-se e sinta-se como parte efetiva dele. Segundo ECKARDT [12]:

“Instituir um ambiente que seja socialmente justo, esteticamente durável e tecnicamente eficiente, um ambiente que, acima de tudo crie e preserve o sentido de comunidade com outros, que nos dê importância e segurança, sentido de participação e partilha da vida comum”.

Um dos objetivos deste trabalho é trazer uma nova proposta que contemple o atual cenário das grandes cidades brasileiras, sem esquecer os desafios que são imprescindíveis nos grandes projetos, especialmente os que envolvem uma linha de transmissão que atravessa uma malha urbana. A introdução de uma torre diferenciada no espaço urbano, com uma nova abordagem arquitetônica e estética, tem como intuito mostrar que as cidades podem ganhar novas possibilidades, através do olhar e da integração.

3.2 O Espaço Urbano

“A cidade é a instituição fundamental do homem civilizado”.
(VASCONCELLOS[34])

O espaço urbano é o elemento fundamental na preservação dos valores intrínsecos da sociedade organizada. É no espaço urbano que se processam as interações e relações entre os diferentes participantes do cenário social e o atendimento às necessidades dos cidadãos, tais como trabalho, cultura, lazer, educação e bem estar, que devem, necessariamente, estar em sintonia com o ambiente.

Com a agitação das cidades modernas, concebidas para garantir eficiência e rapidez, as pessoas acabam perdendo a percepção do olhar sobre o meio que as circundam, não sendo capazes, muitas vezes, de se atentarem a detalhes, o que torna essencial a busca por criações de elementos que instiguem e estimulem um novo olhar sobre o objeto e o todo que contextualiza o espaço.

As cidades ganharam forma para dar forma, ou seja, o homem molda a cidade, e em contrapartida é modelado por ela. As estruturas urbanas se transformam, adaptam ou até

mesmo se perdem frente a novos desafios, agravando os conflitos socioeconômicos, refletindo assim as realidades sociais das cidades. Essa constatação também pode ser vista na frase de VASCONCELLOS[34]:

“Há, contudo, aspectos ligados à urbanística que não podem deixar de ser considerados quando se buscam soluções válidas para o mundo moderno. Um deles decorre de uma simples constatação: estruturas urbanas são causa e efeito de estruturas sociais”.

Os diversos e diferentes espaços coexistem e se complementam dentro de uma cidade, tudo acontecendo simultaneamente, incorporando tempo e vivência urbana. A experiência e a forma de apropriação dessa realidade precisa fazer parte da vida do sujeito nesse contexto urbano e pode estar relacionada às paisagens, arquitetura e objetos.

3.2.1 A Arquitetura, o Homem e a Cidade

“Nos centros urbanos, a partir da racionalidade moderna, foram priorizadas as relações prático-utilitárias, e a percepção do ser humano em relação à paisagem urbana se tornou predominantemente operacional e cristalizada”. (FURTADO[16])

As cidades passaram por um processo de modernização tanto tecnológica quanto funcional, para satisfazer às exigências do processo produtivo. Essas mudanças, por sua vez, foram marcadas por uma característica estética funcional, a partir de um rigoroso ideal modernista, que tentou organizar de modo racional a estrutura urbana, através das formas arquitetônicas, usando a padronização e a pré-fabricação em série de todo tipo de equipamento urbano relativo à vida cotidiana.

“Deparamos com um paradoxo: edifícios produzidos com as mesmas ideias, num momento são arquitetura, noutros não, porque num momento foram produzidos com conhecimento “reflexivo”,

noutro foram feitos segundo uma reprodução “inconsciente” de padrões”. (HOLANDA[18])

A arquitetura, como qualquer prática humana, no nosso sistema, implica fatores que estão ligados diretamente aos recursos econômicos para sua realização, onde muitas vezes o objetivo do investimento é maximizar o lucro e minimizar os gastos, como é o caso de muitas empresas privadas e de empreendimentos públicos. Quando a arquitetura é pensada apenas com essa finalidade, e é dependente de determinações econômicas ou políticas, as intervenções, em muitos casos, são feitas para beneficiar poucos, ao invés de a sociedade como um todo.

“Enquanto perdurar a situação atual, teremos, no máximo, algumas grandes e notáveis obras, não uma grande e notável arquitetura”. (VASCONCELLOS[34])

Ao contrário dessa prática arquitetônica elitista, a arquitetura pode ser, e deve ser, trabalhada como um instrumento de integração e voltada às necessidades da comunidade. Através do conceito, da linguagem e da forma que a arquitetura é empregada, surgem os impactos positivos ou negativos no ambiente do qual dependemos.

“É mediante os atributos dos elementos arquitetônicos dos lugares que temos nossas expectativas em relação a eles mais ou menos satisfeitas – do nosso corpo e da nossa mente. O desempenho arquitetônico de um lugar é fruto da conjunção de vários atributos, que ora incidem em certo aspecto, ora em outro, por vezes em vários, até em todos”. (HOLANDA[18])

Os interesses individuais e coletivos e a função social dos empreendimentos devem estar apoiados sobre a preservação e respeito ao cenário urbano. Por isso, a sociedade vem cobrando dos órgãos públicos, posturas efetivas contra a degradação da imagem da cidade, como por exemplo, fazendo oposição à instalação de antenas de telefonia celular e torres de transmissão de energia em determinadas regiões. Essa situação que demonstra uma

nova postura social frente às imposições do mercado sobre a paisagem urbana, visa à preservação da imagem da cidade, inclusive no que se refere aos impactos visuais.

“Urbanismo é um pouco como arquitetura, como casa da gente. São seus moradores que lhe sabem dar o arranjo eficiente e correto”. (VASCONCELLOS[34])

O papel do homem na cidade não é somente de possuir um espaço para ser simplesmente habitado ou onde executa de forma racional suas funções. O homem também é um ser criativo que estabelece relações e vínculos afetivos, imaginários e estéticos com o entorno urbano. Sabendo disso, é fundamental pensar, antes de dar início a um projeto, em outras possíveis maneiras de comunicação do homem com o objeto e o espaço, resgatando detalhes e informações do lugar e oferecendo à sociedade um sentimento de participação, envolvendo as pessoas nos processos de intervenções urbanas.

O individualismo consumista globalizado contamina a paisagem urbana. Assim, tornam-se necessárias modificações na legislação das cidades, visando estabelecer algumas prioridades, interesses sociais e maior participação dos órgãos públicos na definição de intervenções que tenham como diretriz a preservação e menores impactos no meio ambiente urbano.

Trazer diferentes discursos visuais, suscitar emoções em quem passa, fugir da saturação que a padronização trouxe para a paisagem e promover a vivência do espaço, é uma possibilidade que a arquitetura pode trazer através do homem para a cidade e para ele.

3.3 A LT de energia elétrica e suas consequências no meio urbano

“Se, por um lado, a energia elétrica é um insumo indispensável aos processos de produção modernos e propicia melhoria na qualidade de vida de seus usuários, por outro, seu suprimento pode acarretar rupturas, muitas vezes consideráveis, nos sistemas físico-biótico,

sócio-econômico e cultural dos locais e regiões em que as instalações de suprimento são implantadas”. (CELG[7])

As atividades humanas geram diferentes impactos no ambiente. Esses impactos podem ser mais ou menos significativos na paisagem, dependendo da localização, do tipo de atividade desenvolvida e das medidas que foram implementadas durante o desenvolvimento do projeto.

“Será que o povo não está a altura ou em condições de compreendê-la ou, ao contrário, é a arquitetura que não se integrou, não se tornou acessível, não atendeu às aspirações do povo?” (VASCONCELLOS[34])

A linha de transmissão é um equipamento básico na infraestrutura do nosso país, porém é uma intervenção que gera alguns incômodos, como a questão dos impactos causados à paisagem urbana. Os suportes que sustentam os cabos energizados podem variar entre postes e torres, porém não apresentam variações estéticas no que se refere aos locais de instalação, sejam eles espaços urbanos ou rurais, gerando uma desvalorização nos limites urbanos por onde as linhas percorrem. Existe então a visível necessidade de criar uma diferenciação no design das estruturas urbanas, o que não se trata de um capricho arquitetônico ou estético, mas sim da necessidade de uma nova abordagem na criação do projeto.

A princípio, é preciso entender que a evolução e o aperfeiçoamento de equipamentos urbanos essenciais ao desenvolvimento do país resultarão espontaneamente das estruturas sociais urbanas. Por isso, durante o desenvolvimento de um projeto de LT é importante buscar informações, compreender o espaço, trazer a população para auxiliar na busca de soluções para os desafios e proporcionar intervenções condizentes com o contexto do local e mais integradas com a população e o meio.

O espaço urbano é um elemento que preserva os valores que nascem da sociedade organizada. Esse espaço é de suma importância para o homem, uma vez que é ele que

possibilita as relações sociais, que em sua essência têm a função de atender às necessidades dos cidadãos. Sendo assim, sejam quais forem as intervenções a serem feitas no espaço, como é o caso do projeto de uma LT, é desejável que ele consiga de forma harmônica interagir com o entorno e amenizar seus impactos, sejam eles socioeconômicos ou ambientais.

O pouco espaço ainda disponível nos grandes centros urbanos, possui valores extremamente elevados, e nem sempre os que existem são passíveis de serem utilizados pelas concessionárias de energia, pois não atendem às exigências do projeto de implantação de uma LT. Porém, os desafios que as cidades fazem às concessionárias de energia não se restringem à questão financeira, mas também às questões sociais. Isso porque muitos centros urbanos sofrem com a falta de planejamento adequado e infraestrutura suficiente para atender toda a demanda populacional, fazendo com que, em muitas áreas, haja conflitos entre as faixas de passagem das linhas existentes e a população, em busca de espaços para moradia.

Como visto anteriormente no Capítulo 2, a área da faixa de passagem de uma linha não está suscetível a qualquer tipo de ocupação, por ser um sistema de transmissão de energia elétrica que opera em altas tensões. Apesar disso e das restrições instituídas pela legislação, há um crescente número de ocupações irregulares nessas áreas.

As apropriações indevidas, ao contrário do que muitos pensam, não estão vinculadas unicamente à população de baixa renda, embora esta seja a maioria. Existem intervenções feitas de forma inapropriadas pela população de classe social mais elevada também, como é o caso do Bairro Buritis (Belo Horizonte/MG), onde um empreendimento privado transformou uma parte da faixa de segurança em estacionamento privativo (Figura 3.1).



Figura 3.1: LT do Bairro Buritis que teve a torre contornada por muros para abrigar um estacionamento na faixa de segurança. (**Fonte:** Fotos do GoogleMaps)

Ainda na cidade de Belo Horizonte, como exemplo dessa ocupação irregular dentre tantas outras, tem-se o caso do aglomerado Morro do Papagaio, onde houve a ocupação completa da faixa de passagem, inclusive da base das torres. Na Figura 3.2, é possível notar a indicação do posicionamento de algumas torres e o trajeto que a linha faz nesse aglomerado. Esse tipo de ocupação, além de gerar riscos as pessoas que ali vivem, compromete a operação da linha, e ainda dificulta, ou até mesmo impossibilita, a chegada da concessionária até o local para executar reparos ou a manutenção do sistema.

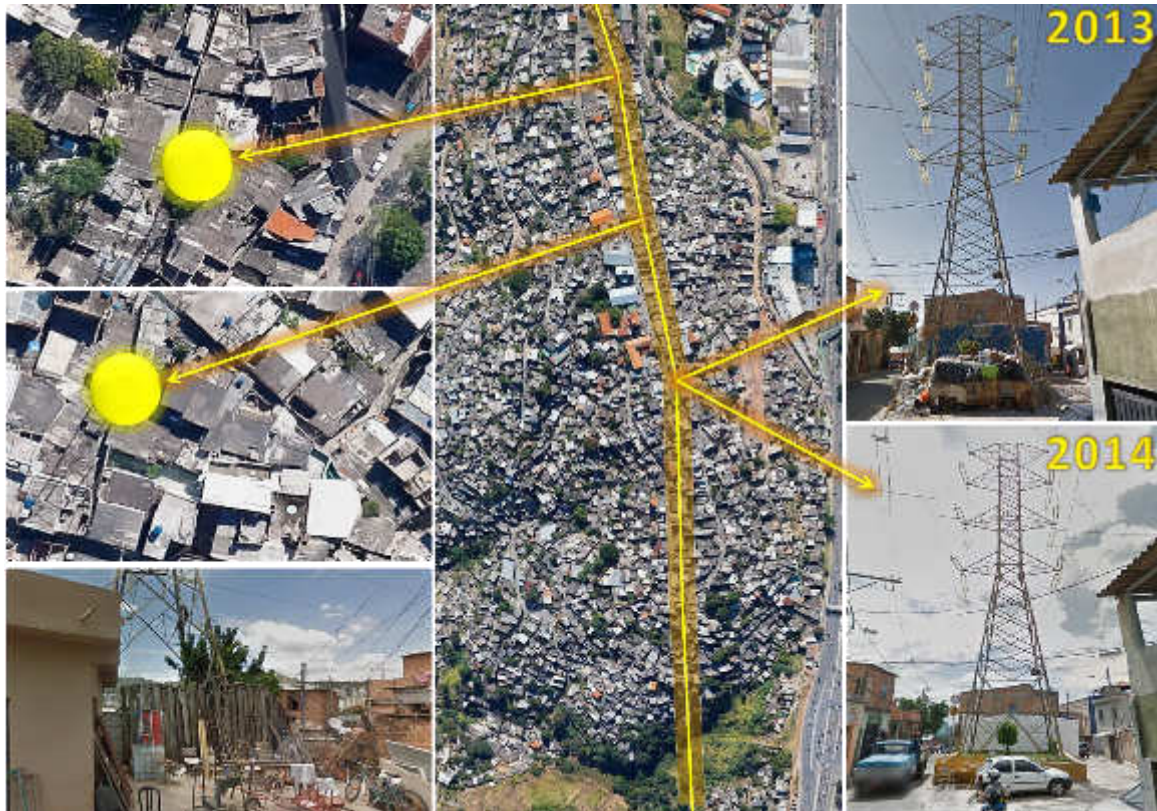


Figura 3.2: Morro do Papagaio - Belo Horizonte. (Fonte: Fotos adaptadas do GoogleMaps)

Essas situações ocorrem muitas vezes devido ao crescimento acelerado das cidades, à falta de planejamento adequado e de uma estratégia mais eficaz para coibir tais situações de risco. As concessionárias contam com o auxílio das respectivas Prefeituras e do Ministério Público para fazer a desocupação da faixa, mas é um processo longo e demorado. A faixa é inadequada para ocupação, porque nela há uma zona de influência eletromagnética da linha, fazendo com que, segundo ABNT-NBR 5422:1985 [4], não possa haver uma interação permanente.

A Figura 3.3 mostra um exemplo da ação conjunta para solucionar problemas de invasão de faixa de passagem. A Prefeitura de Belo Horizonte (PBH[28]), em 2010, começou um trabalho para a retirada das famílias que moram debaixo das LT's de 138 kV da CEMIG que atravessa uma parte do aglomerado Morro das Pedras. A remoção e o reassentamento dos moradores está sendo viabilizada através de um convênio firmado entre ela e a CEMIG.



Figura 3.3: PBH remove famílias que moram sob linhas de transmissão de energia. (Fonte: PBH)

Em muitos casos, linhas que outrora se localizavam em áreas afastadas, hoje fazem parte do cenário de muitos bairros e estão sujeitas a diversas situações conflituosas, como mostra a Figura 3.4. Trata-se de situações que envolvem até a própria prefeitura, que utiliza a base da torre para promover obras públicas, ambulantes que usam a torre para expor suas mercadorias e árvores de grande porte embaixo da linha.



Figura 3.4: Torre de transmissão do bairro Cidade Industrial (2010/15) - Contagem. (Fonte: GoogleMaps / Arquivo pessoal)

Não existem apenas situações, em que houve a invasão da linha pela população, mas também há ocorrências de linhas que foram criadas em áreas já ocupadas densamente por

moradias. A Figura 3.5, mostra a situação de moradores da comunidade Terra Brasil, em Senador Camará, na Zona Oeste do Rio. Desde 1997, eles são obrigados a conviver com as torres de distribuição de energia de alta tensão instaladas pela LIGHT. O problema que envolve a criação dessa linha é que, segundo especialistas que estiveram no local, há riscos para quem vive nas proximidades. Em contrapartida, a concessionária diz que o projeto foi aprovado pela FEEMA (Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente) e não apresenta riscos para a população.



Figura 3.5: Trecho da linha de transmissão de energia que passa pela Rua Júlio Conceição e pela Rua Nelson da Fonseca, Senador Camará – RJ. (Fonte: GoogleMaps)

Nas LT's urbanas compactas normalmente não existe a faixa de servidão ou de domínio instituída por norma, estando seu eixo situado em passeios públicos e canteiros centrais de avenidas, como é o caso de suportes da LIGHT na comunidade do Rio de Janeiro (ver

Figura 3.5). Porém, para esses casos, as restrições e permissões devem ser objeto de estudo específico tendo por base orientações técnicas e a faixa de segurança dimensionada na fase de projeto, para que não haja impasses como o descrito anteriormente.

São essas e outras situações que mostram como tais intervenções são impostas não só ao meio, mas também à população. É imprescindível que não só a consciência da população mude, mas também as atitudes da sociedade no geral, que sejam buscadas soluções adequadas à realidade brasileira, ações mais eficientes dos órgãos públicos e investimentos privados que possam objetivar algo além dos lucros financeiros. A Figura 3.6, mostra não apenas uma situação de risco envolvendo uma LT, mas reflete também os problemas sociais do país.



Figura 3.6: Apropriação indevida e de risco. (Fonte: Viva Favela)

Por fim, esses desafios urbanos que instigam ainda mais o trabalho conjunto entre arquitetura e urbanismo, visando o bem-estar coletivo, tornam-se uma excelente ferramenta contra alguns problemas sociais, porém não são solução para todos os males da sociedade. No caso das LT's, essa ferramenta pode conceber intervenções que atendam tanto às necessidades do homem quanto do espaço, com o intuito de melhorar as cidades e as relações nelas existentes, e não destruí-las com a criação de estruturas simplesmente “bonitinhas”, mas que não funcionam e possam ser compreendidas pelo homem.

Tanto as questões naturais, quanto as intervenções do homem, são fatores que devem ser levados em conta em um projeto, principalmente em áreas urbanas. Deve ser considerado

que o Brasil enfrenta muitos problemas sociais, como por exemplo, a questão habitacional e também a falta de espaço nas grandes cidades.

Além dos problemas enfrentados tanto para a instalação de novas linhas, quanto para as já existentes no meio urbano, existe também a necessidade de propor um novo projeto de torre. Esse novo projeto tem o objetivo de fazer as torres da LT terem uma melhor comunicação com a paisagem, amenizar seus impactos na vida cotidiana da população e tornar sua relação com o ambiente mais harmônica. Adicionalmente, ele muda a visão de mercado, minimizando a desvalorização dos espaços por onde passam as LT's.

“Pergunta: quais são os limites do design?

Resposta: quais são os limites dos problemas?” (Charles Eames)

Capítulo 4

O DESIGN

4.1 Introdução

O design que aqui será abordado tem cunho social. Além de ser a interface que firmará os laços entre a arquitetura e a engenharia, ele também irá atuar como mediador entre o objeto e o espaço em busca de proporcionar uma melhor interação e comunicação da estrutura com o meio, acabando assim com a dicotomia entre forma e função.

“A cultura moderna, burguesa, fez uma separação brusca entre o mundo das artes e o mundo da técnica e das máquinas, de modo que a cultura se dividiu em dois ramos estranhos entre si: por um lado, o ramo científico, quantificável, “duro”, e por outro o ramo estético, qualificador, “brando”. Essa separação desastrosa começou a se tornar insustentável no final do século XIX. A palavra “design” entrou nessa brecha como uma espécie de ponte entre esses dois mundos. E isso foi possível porque essa palavra exprime a conexão interna entre técnica e arte. E por isso “design” significa aproximadamente aquele lugar em que arte e técnica (e, conseqüentemente, pensamentos, valores e científico) caminham juntas, com pesos equivalentes, tornando possível uma nova forma de cultura”. (FLUSSER[15])

Em resumo, Flusser em suas palavras demonstra a importância da união entre as ciências sejam elas exata ou inexacta, se complementam e trabalham para um bem comum. NOGUEIRA[24] confirma essa relação mostrando que o design é básico em todas as atividades humanas. A ideia de planejar e programar qualquer ato visando um fim específico, como o intuito deste trabalho de criar uma nova forma de torre de transmissão de energia elétrica, constitui o processo de design. Pode-se admitir também que esse

processo pode levar a diferentes trajetórias, inclusive à busca da democratização da arte e o seu conceito, sua função social e seu espaço através de um equipamento urbano.

Com isso pode-se dizer que são necessários novos cenários, novas perspectivas e alternativas para se ensaiar novos projetos, propostas e ideias. É justamente por se viver em um cenário fluído, globalizado e cheio de desafios que existe a necessidade de alterar a metodologia.

Desde sempre, os projetos de linhas de transmissão de energia elétrica no Brasil vêm sendo executados de forma padronizada sem dar a devida atenção às necessidades atuais, tanto do espaço quanto da população, buscando unicamente a otimização financeira do projeto.

A intenção em desenvolver o projeto de uma nova estrutura de torre de transmissão de energia elétrica é a de criar novas possibilidades para o meio ao qual ela se insere, de trazer o design para os equipamentos urbanos e tornando-o um objeto de requalificação do espaço urbano. Isso, a partir do momento que se dá um novo significado estético a torre, onde seu design pode trabalhar a percepção do homem não só com o espaço, mas também com o objeto.

Sair da padronização das torres convencionais instaladas nas áreas urbanas é permitir um novo processo de percepção, onde a nova torre requer que o sujeito recrie o objeto, partindo da sua forma, do seu significado e utilizando suas vivências para dar sentido próprio à estrutura que ele observa. Segundo FURTADO[16], são esses novos sentidos que promovem uma relação diferente do ser humano com a cidade e, mais do que o objeto de arte, com o entorno que lhe constitui.

4.2 O Design e sua essência

A essência do design é a de contribuir para a reflexão e percepção do homem tanto sobre as formas com que os objetos se apresentam, o processo construtivo e, os recursos tecnológicos empregados, quanto sobre a linguagem não verbal que é passada a partir de

sua imagem. Uma imagem é, entre outras coisas, uma mensagem: ela tem um emissor e procura por um receptor, e é através do design que torna-se possível a interpretação visual intrínseca ao objeto, o que conduz ao resgate da relação entre o homem e o objeto.

NORMAN[25], em relativa concordância à significação da função do design, trabalha sobre o conceito de que o design é um processo evolutivo baseado no teste, na identificação e correção de áreas problemáticas, criando um novo produto, e novamente na submissão desse novo design a outros testes, repetindo esse padrão até que a energia e os recursos se esgotem.

Segundo entendimento de NOGUEIRA [24] a origem imediata da palavra design está na língua inglesa, na qual o substantivo design significa – entre outras coisas – plano, intenção, enredo, etc. Como verbo (to design: projetar), significa inventar, simular, desenhar e dar forma a alguma coisa.

Após essa contextualização, do ponto de vista etimológico, percebe-se que o termo já veicula, desde suas origens, o aspecto abstrato de conceber, e, por outro lado, o aspecto concreto de criar. Dessa forma pode-se considerar que o design trabalha a união desses dois aspectos opostos, atribuindo forma material e conceitos intelectuais. É importante saber que o design não só pode, como deve, ser trabalhado para criar nos objetos uma interface com a sociedade a que pertencem, objetos que exerçam uma função social, que comuniquem ideias e impressões, que sejam frutos simultâneos de um processo intelectual e de um trabalho manual. (NOGUEIRA[24])

4.2.1 O ponto de partida

Para promover a inovação social, o pensamento e a prática do design são necessários. O design abre espaço e dá suporte às descobertas, facilitando e promovendo a comunicação entre as pessoas, desempenhando a função de “catalisador” cultural de mudanças. Ele faz com que novas criações e técnicas possam surgir e contribuir com os avanços no desenvolvimento de produtos que servirão melhor à humanidade.

O designer tradicional segundo FLUSSER[15], tinha como meta principal a produção de objetos úteis. E ainda qualquer construção que fosse de utilidade também devia ser realizada com exatidão, isto é, tinha que estar de acordo com os conhecimentos científicos. Devia ter também um aspecto bonito, ou seja, devia estar apto a se converter em uma experiência para o usuário. De todo modo, a cada dia se torna mais inesgotável a variação de forma/aparência entre objetos destinados a uma mesma utilização. Afinal, o design se torna indistinguível de comunicação ou linguagem na medida em que sinaliza a singular tentativa humana (natural) de impor sentido ao mundo por meio de códigos e técnicas (artificiais).

FLUSSER[15] classifica os objetos de uso, como obstáculos de que necessitamos para poder progredir e, quanto mais precisamos deles, mais os consumimos. Essa relação feita por Flusser pode ser claramente aplicada ao sistema de distribuição de energia brasileiro, uma vez que, para o progresso, a energia elétrica é indispensável, e sua demanda só tende a aumentar com o passar do tempo, ou seja, a criação de novas linhas e centrais de distribuição se torna inevitável. Porém, entre outras coisas, quando objetos fundamentais como esses são desenvolvidos com preocupação em relação aos aspectos intersubjetivos dos produtos, o objeto torna cada vez mais um veículo de comunicação e ainda reduz a possibilidade de se tornar um obstáculo para o usuário ou para a própria cidade.

Partindo do conceito tradicional do design, das exigências do programa do projeto de uma torre de transmissão e das necessidades do contexto urbano das cidades é que se molda o design do produto final. O objetivo desse trabalho não é fazer com que os serviços e o meio se adaptem ao produto final, mas sim que o objeto seja resultado de sua função e do meio (Figura 4.1). Na mesma linha de raciocínio, DE MORAES[10] sugere que é necessário reconceituar o design, movendo (principalmente) da cultura prática do design orientado pelo produto, para orientado pelo serviço. Ou seja, de uma forma de pensar e agir em que os produtos eram a figura central e os serviços considerados extensões e/ou adicionais, para uma abordagem do serviço pelo design na qual as interações entre pessoas, coisas e lugares ocupem o centro, e em que os produtos (físicos) sejam as “evidências” que testam o serviço existente.



Figura 4.1: Transição do design como preocupação central para um design que é resultado de outros fatores.

Nesse momento, abre-se espaço para alguns princípios da arquitetura, pois antes do desabrochar de uma ideia, e principalmente da execução de intervenções, deve-se levar em consideração a realidade do lugar, onde toda e qualquer cidade apresenta um cenário fluído, dinâmico e complexo. É através desses detalhes que será descoberto mais a respeito da necessidade de novas abordagens projetuais para o ambiente. O resultado nem sempre apontará para uma única solução precisa ou exata, mas dará a oportunidade de originar soluções distintas para um mesmo produto ou serviço, o que trará novos significados para o design e conseqüentemente para o usuário.

4.3 O Design além do Design

O design precisa ser utilizado como ferramenta auxiliar na inovação social, propondo novas abordagens projetuais, modelos e metodologias que sejam capazes de direcionar os projetos para atenderem de forma satisfatória às constantes modificações que os ambientes estão sujeitos ao longo do tempo. Para que isso ocorra, é necessário uma transição do design, onde o produto não é mais o único foco, mas sim o contexto em que o produto se insere e a função à qual se destina, como dito anteriormente. O objeto agora deve ser baseado no senso de comunidade e bem comum, promovendo novos tipos de relações e uma interface entre o produto e o serviço que compõem o design.

A complexidade dos projetos das LT's foi progressivamente aumentando em função da crescente complexidade do cenário das cidades onde serão executados, que possui peculiaridades por questões políticas, econômicas ou sociais. Esses fatores obrigam o design contemporâneo a romper e adequar continuamente as suas práticas para atender às necessidades atuais de cada ambiente e de cada população.

O design tem se tornado amplamente conhecido como uma ferramenta estratégica de suporte ao desenvolvimento de melhores serviços para as comunidades e indivíduos, incluindo o aprimoramento das cidades. Porém, para o design promover a inovação social ele deve atuar no seu sentido mais amplo, ou seja, é preciso considerar os serviços e seus principais campos de ações.

Outro ponto importante onde o design pode atuar é quando ele é considerado como uma forma de levar a arte para o espaço, cabendo refletir sobre a concepção de cidade moderna, racional, funcional, produtiva, industrial, e a complexidade das relações humanas que ali acontecem. Ao se levar a arte para espaços públicos através do design, pode-se pensar nas relações estéticas que serão vivenciadas pela população, o que também poderia ser considerado como a democratização da arte, que estaria acessível a todos. FURTADO[16] ainda diz que, no entanto, permanece uma certa preocupação de que esse tipo de arte seja mais um modo disfarçado de publicidade e política corporativa, uma vez que esses projetos podem ser utilizados para promover os locais como lugares únicos e vendê-los para turistas, assim como utilizados para ornamentar e embelezar a cidade para satisfazer seus moradores.

Nesse trabalho o design será trabalhado como ferramenta de requalificação dos espaços urbanos atuais na tentativa de colocar a relação entre objeto, população e meio ambiente acima de interesses econômicos ou políticos. FURTADO[16] em suas palavras a seguir expressa bem a intenção deste trabalho:

“Embora a intervenção de arte na cidade ainda venha a ser muitas vezes utilizada exclusivamente para a propaganda e marketing, o que garante o apoio necessário do governo local, muitos projetos objetivam a sensibilização estética e a sua importância para promover novas formas de relação dos sujeitos com o entorno urbano”.

Para exemplificar esse pensamento, pode ser citada a intervenção urbana feita pelo artista brasileiro Eduardo Srur no Museu Brasileiro da Escultura (MUBE), em São Paulo. A obra

intitulada “Antena” (ver Figura 4.2) conta com diversos modelos de antenas instaladas na cobertura do museu. Eduardo Srur (2006) explica sua intervenção artística da seguinte forma:

“A obra revelava uma nova perspectiva de uso do espaço institucional e apontava para uma ideia mais democrática de disseminação de conteúdo artístico. Se o artista é uma antena da sociedade, seu trabalho deve transmitir as informações de modo menos elitista. Deve criar um produto que se expande para além das paredes museológicas”.



Figura 4.2: Antenas - Arte urbana feita por Eduardo Srur. (Fonte: www.eduardosrur.com.br)

Nota-se que o artista transformou a cidade em um laboratório de pesquisa para a prática de experiências artísticas. Ele fez uso do espaço público para chamar a atenção para questões do cotidiano nas metrópoles, com o objetivo de despertar a consciência para uma nova estética e aproximar a arte da vida das pessoas.

Ainda se convive com uma estética urbana racional, funcional, moderna e restritiva, que se impõe pela dominação econômica da classe mais abastada, e da carência de espaços públicos onde os sujeitos possam sensibilizar-se com o que está ao seu redor e modificar sua maneira de viver. No entanto, outras formas de relação estética com a cidade podem emergir por meio da arte urbana e da valorização dos espaços públicos, da arquitetura e da cultura local, introduzindo a arte na própria vida e no cotidiano da população FURTADO[16].

Por fim, os objetos trazem em sua essência o poder de criar ou não uma relação com o usuário que pode ir muito além de seu simples uso, atingindo aspectos subjetivos de comunicação e memória tão ou mais relevante que aqueles relacionados a seu aspecto objetivo, útil. Por isso que, neste trabalho o objetivo não é o de criar mais um suporte, entre tantos já existentes para o transporte de energia elétrica, mas sim propor uma nova imagem, novos significados e trazer novas sensações ao homem.

A criação da nova torre não visa a promover ou atender possíveis interesses políticos ou econômicos, uma vez que, quando se abre mão da produção em massa e padronizada o custo envolvido é mais elevado. Porém não estão sendo levantados neste trabalho só os custos financeiros, mas os ganhos para a cidade e a população a partir do momento que é dada a oportunidade de inserir novas ideias e trazer mudanças ao cenário atual de linha de transmissão de energia no Brasil.

4.3.1 A relação da cidade com o design

Como já abordado, o design é intrínseco aos objetos, mas é importante salientar a sua relação com a arquitetura e com a cidade. É justamente através desses fatores e de uma boa comunicação entre eles que formam-se espaços singulares, podendo transformar ambientes que outrora não se relacionavam com os usuários, em novos espaços públicos que promovam a relação entre o homem e a cidade através da linguagem estética do objeto.

A integração é importante na realidade do nosso mundo e é justamente um novo olhar da sociedade sobre o design que dará um novo significado à torre desenvolvida neste

trabalho, e através dessa nova imagem tornará possível reverter a realidade de lugares e espaços projetados para exercerem unicamente sua função. Esses espaços se tornam cada vez mais monótonos (Figura 4.3) devido à padronização, descaracterização da arquitetura e conseqüentemente dos espaços, e que sofrem com intervenções que visam apenas diminuir custos e aumentar lucros.

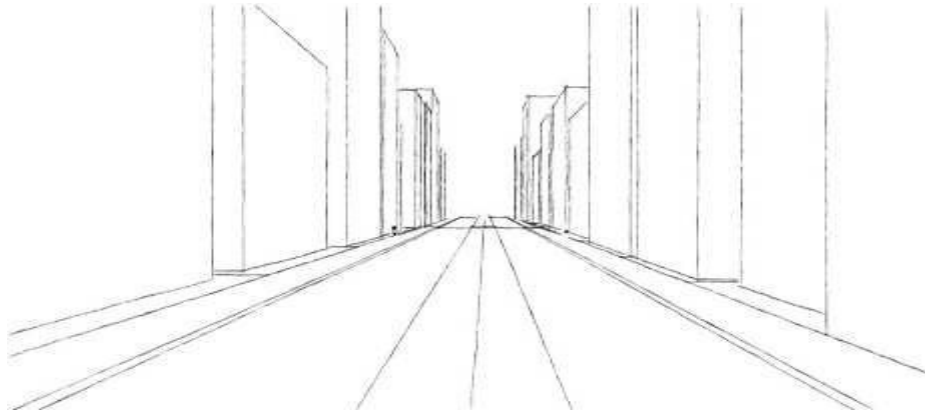


Figura 4.3: Exemplificação da monotonia que encontramos em centros urbanos de muitas cidades.

Essa monotonia, segundo JACOBS[20] em grande parte é causada pelo planejamento e o desenho urbanos ortodoxos, sendo responsável pela “Grande Praga da Monotonia” que assola espaços monumentais, padronizados, vazios, sem vida ou sem usuários. Trata-se da “anti-cidade” ou da “urbanização inurbana”, fruto de uma pseudo ciência que é incapaz de olhar para a cidade real e aprender as muitas lições que ela pode transmitir a cada instante. Desprezam a vitalidade urbana e a interação entre os usos ao invés de valorizar a diversidade e a potencialidade propiciada pela grande metrópole.

Inicialmente de forma conjunta, os agentes sociais (profissionais de diferentes áreas) precisam ser dotados de conhecimento específico que os permitam entender o processo de mudança, das características do contexto local e da dinâmica vigente do local de estudo. De posse desses conhecimentos é importante descobrir o que se faz necessário para promover e aumentar a prática de novas intervenções nos contextos atuais das cidades e enfrentar a particularidade dos desafios de cada espaço. A Figura 4.5 mostra como seria esse processo desde o início até a execução da intervenção no espaço.



Figura 4.5: O processo que deveria ser incluso antes de serem feitas as intervenções no meio ambiente.

Como requalificação de espaços públicos pode-se citar a criação dos “Parklets” - extensão temporária da calçada, a minipraça, com mobiliário e paisagismo-, o conceito de parklets foi criado em 2003 pela italiana Suzi Bolognese, mas o primeiro projeto oficial só foi executado em 2010 na cidade de São Francisco (EUA) e virou política pública em 2009 no Brasil (Figura 4.6). Esse tipo de intervenção urbana busca renovar e ampliar a oferta de espaços públicos para a comunidade, além de ser uma estratégia de valorização do entorno e de propor a rotatividade dos espaços.

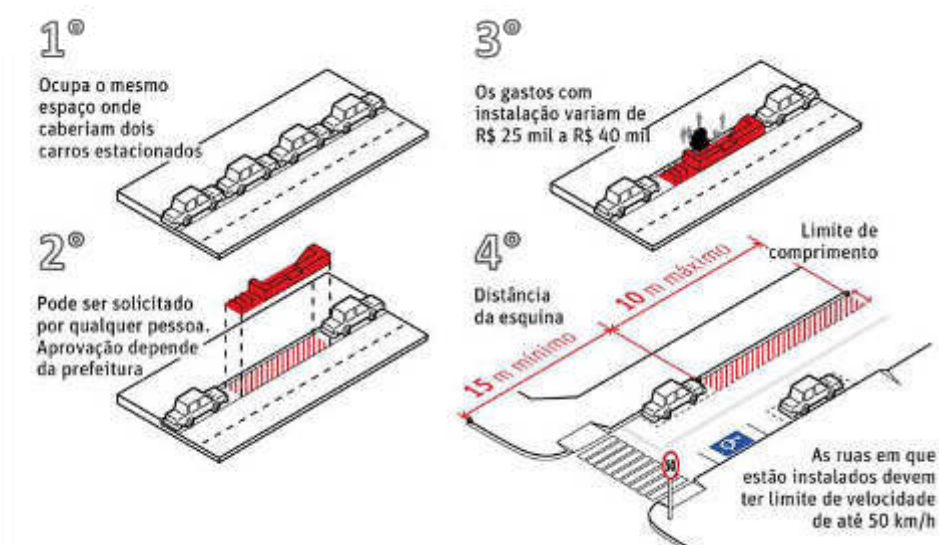


Figura 4.6: Como é feita a intervenção dos Parklets na cidade. (Fonte: Prefeitura de São Paulo)

Através da mudança do pensamento ao se fazer uma intervenção no espaço, é possível gerar ganhos não só para quem investe, seja o setor público ou privado, mas também para

a sociedade como um todo, que passa a dispor de locais aptos para convivência e lazer. Acima de tudo, a cidade ganha mais vida e movimento a partir do momento que abre mais espaço e possibilidades para a população usufruir (ver Figura 4.7).

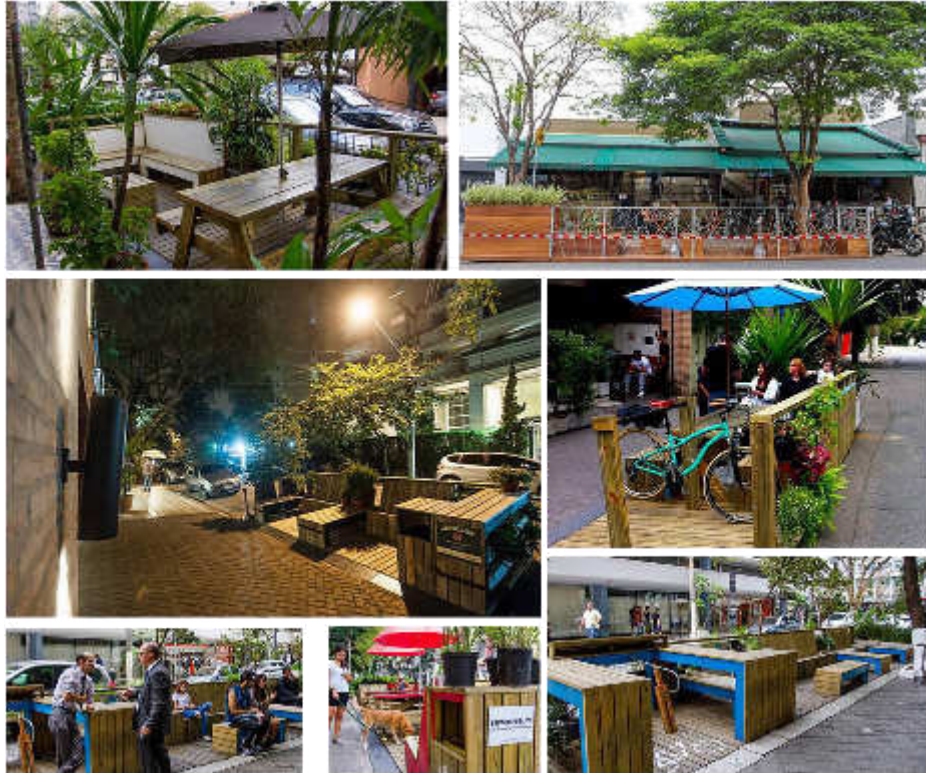


Figura 4.7: Parklets criados na cidade de São Paulo. (Fonte: Folha de S. Paulo)

Em muitas situações, existe o impasse de quem beneficiar nas intervenções no espaço, os veículos ou os pedestres no caso da criação dos Parklets (Figura 4.8). Atualmente, os custos que envolvem a criação de uma LT estão a frente de qualquer outro quesito, seja os impactos causados pela linha nos espaços urbanos, ou os que afetam a população. Porém, o que foi solução no passado pode ser um problema na atualidade ou no futuro, mostrando que as necessidades mudam com o passar do tempo e que repensar as prioridades é essencial.

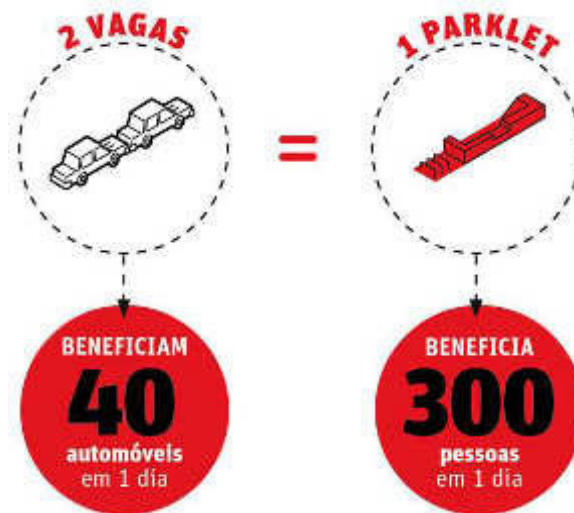


Figura 4.8: O mesmo espaço, com uma abordagem distinta pode beneficiar de forma diferente a população.

(Fonte: Prefeitura de São Paulo)

A intenção de trazer o design para os espaços públicos da cidade é fazer com que as relações com o lugar tornem um fator indissociável do objeto, pois sabe-se que a todo momento, a imagem na cidade comunica-se com o lugar que está inserida, com outros objetos e com as pessoas que ali transitam.

A ideia de transmitir uma mensagem através da arte, do design ou da arquitetura tem o intuito em muitos casos de abrir novos caminhos e novas possibilidades para o espaço e a população. Utiliza-se assim as diferentes facetas do objeto como ponto de partida para a transformação e não como objeto transformador.

É de suma importância ressaltar que não cabe ao design resolver todos os problemas sociais, mas ele pode promover e auxiliar nas relações estéticas da composição urbana e engendrar, a partir dessas relações, reflexões éticas e políticas. O que FURTADO[16] fala sobre o que se deve esperar da arte, pode-se utilizar para o design, pois não cabe a ele suspender as diferenças que coexistem no entorno urbano e viabilizá-lo como um museu aberto, mas criar novas tramas urbanas com a arquitetura, com as paisagens e as pessoas.

“O Homem científico não pretende alcançar um resultado imediato. Ele não espera que suas ideias avançadas sejam imediatamente aceitas. Seus trabalhos são como sementes para o futuro. Seu dever é lançar as bases para aqueles que estão por vir e apontar o caminho (...)” (Albert Einstein)

Capítulo 5

A PROPOSTA

5.1 Introdução

“A vida é movimento e, como movimento, não pode limitar-se a procedimentos estáticos, por mais perfeitos que sejam. Vida é também administração e, ademais, de uma complexidade tal que multiplica planejamentos e execuções na medida de sua própria complexidade. Não há quem deixe de reconhecer como um dos grandes males de nossa administração a falta de continuidade executiva.” (VASCONCELLOS[34])

A contínua busca por novas opções tecnológicas em diferentes áreas do conhecimento é uma prática importante para qualquer país que aspire o desenvolvimento. Porém, ressalta-se aqui a necessidade da adequação da tecnologia ao contexto técnico e social do local no qual se deseja fazer a implantação, principalmente se essa tecnologia é originária de outros países. Sem a adaptação dessas inovações, a tecnologia, em muitos casos, acaba sendo limitada ou não sendo aproveitada por completo.

Tendo em vista a inexistência de estudos brasileiros, apenas pesquisas e aplicações estrangeiras voltadas para a criação de suportes com design diferenciado para LTA serviram de referência para este trabalho. Um país como o Brasil, cuja energia elétrica é transmitida basicamente por LTA, possui ainda muitas tecnologias a serem descobertas e exploradas, não só visando a otimização do sistema, mas em áreas do empreendimento voltadas ao atendimento das necessidades atuais do contexto dos locais por onde passam.

A ideia é a criação de um design para as torres urbanas, que tenha a essência brasileira, profundamente marcado pelo nosso jeito de ser, e voltado para a realidade, o cenário e as características do nosso país. Uma relação mais natural e espontânea da estrutura

com o cotidiano das cidades brasileiras é um dos conceitos base deste projeto, que desde o início esteve em busca do desenvolvimento de um objeto que seja algo a mais para a sociedade, e não apenas mais uma imposição ao meio.

5.2 A necessidade de mudança

“Os modos de produção da arquitetura contemporânea contribuem para a repetição de fórmulas. É a repetição, independentemente de latitude ou longitude, de um estilo pessoal.” (HOLANDA[18])

Em tempos passados, o design dos suportes das linhas de transmissão não eram considerados “bonitos” ou “feios”, simplesmente eram tidos como elementos essenciais para o transporte de energia elétrica, que carrega consigo o desenvolvimento da sociedade moderna. Essa realidade começou a mudar na década de 1960 na Europa, onde a população começou a contestar os aspectos estéticos dos suportes até então existentes e demandar, de forma crescente, a implementação de novos designs para os suportes das LTA’s.

É perceptível essa necessidade de mudança também no cenário de transmissão brasileiro. Porém no Brasil ainda é possível se deparar com afirmações que não procedem, como a de Dranka Jr.[11]:

“Com respeito à especulação imobiliária, muito pouco pode ser feito além da comunicação. A partir do momento em que a população começar a entender as LTs urbanas como mais um elemento de aparato urbano, deixará de existir a consideração de que esse elemento desvaloriza as propriedades contíguas.”

Essa afirmação sobre a desvalorização das áreas estar relacionada com a falta de entendimento da população é equivocada. No Brasil, ainda não foram propostas estruturas com design mais arrojado, porém uma iniciativa da COPEL propõe um projeto paisagístico no traçado da LT, para minimizar os impactos sobre a paisagem cênica, tornar uma intervenção mais agradável e entrosada com a cidade. Tudo isso

com o plantio de árvores adequadas ao ambiente urbano e que não afetem as condições de segurança da LT, como mostra a Figura 5.1. Esse paisagismo seria adotado como parte integrante do projeto, ou seja, se os impactos causados na paisagem pela LT fossem apenas por falta de conhecimento, não se justificaria esse tipo de intervenção feito pela concessionária de energia.

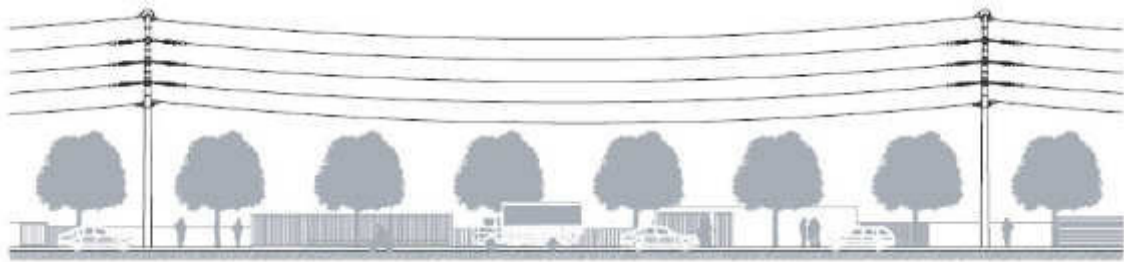


Figura 5.1: Vista lateral do projeto paisagístico. (Fonte: Copel transmissão 2008)

Outra intervenção para trabalhar os impactos negativos gerados pela LT na paisagem foi feita na França, pela artista Elena Paroucheva, através de uma nova técnica utilizada nas torres de transmissão de energia. O objetivo da artista era o de transformar a paisagem, sem tentar ocultar os suportes, mas sim transformá-los em “obras de arte” e destacá-los na paisagem.

A Figura 5.2, apresenta alguns croquis feitos por Elena Paroucheva como proposta para alguns suportes. A artista trata as estruturas como se fossem grandes silhuetas humanas e propõe diferentes tipos de vestido para cada suporte.

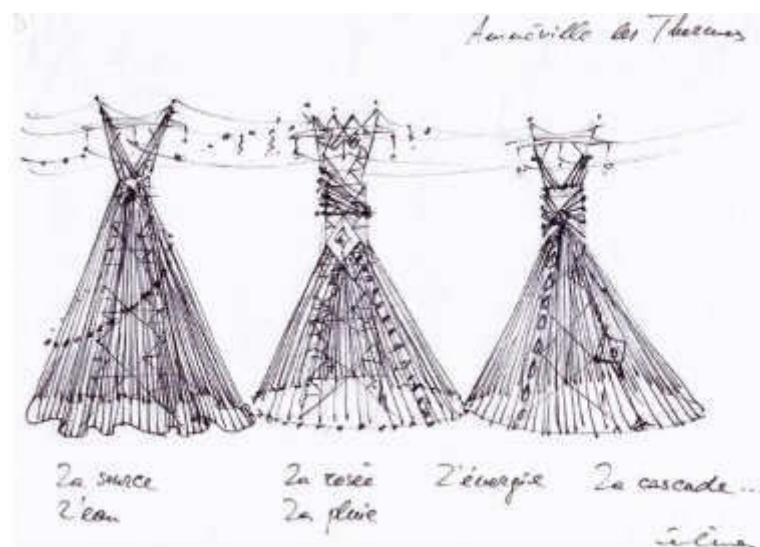


Figura 5.2: Croquis da artista Elena Paroucheva. (Fonte: www.electric-art.eu)

Essa iniciativa ocorreu na cidade francesa de Amnéville les Thermes, onde a Elena Paroucheva transformou em obra de arte algumas torres pertencentes a um trecho da LT que corta a cidade (Figura 5.3). A inauguração da intervenção foi feita em 1999 e chama “Amnéville-Montois” line, levando mais de 5 milhões de turistas para conhecer o projeto.



Figura 5.3: Torre de transmissão de 225 kV na cidade de Amnéville les Thermes– França, que recebeu uma intervenção feita pela artista Elena Paroucheva. (Fonte: www.electric-art.eu)

Como a aceitação do projeto foi muito grande, a empresa responsável pela LT fez um acordo em 2003 com a Elena Paroucheva para que o tratamento artístico transformasse por completo os 1,3 quilômetro da linha que passa pela cidade. Essa solução artística conseguiu reverter a ação, que a principio seria feita pela concessionária, de remover as torres e substituí-las por uma linha subterrânea.

Na Figura 5.4, é possível tomar conhecimento sobre o processo de transformação que é feito nas torres. A intervenção se dá através da pintura dos perfis da estrutura, da utilização de cabos de aço, tubos de aço e por um jogo de iluminação.



Figura 5.4: Processo de transformação da torre. (CIGRE, 2007)

É a partir dessas e de outras iniciativas, que serão abordadas a seguir, que chega-se a conclusão de que algo precisa ser feito para mudar o cenário padronizado do sistema de transmissão. As necessidades mudam, a paisagem é singular e a realidade de cada espaço traduz as modificações e transformações que o lugar carece para evoluir.

5.2.1 Novas ideias: concursos e competições pelo mundo

A proposta de desenvolver um novo projeto para as torres de transmissão de energia aérea no Brasil visa não apenas à melhoria estética, mas tornar sua relação com a paisagem mais amena e agregar valor ao ambiente. Pretende-se que a proposta se torne um referencial, não apenas mais um suporte entre os muitos existentes.

Esse tipo de proposta já é realidade no exterior, onde, por exemplo, o escritório parisiense HugDuttonAssociés (HDA) foi o vencedor de um concurso realizado em 2009 pela empresa Terna, que estava em busca de novas ideias para o formato das torres das LTA's de energia. O projeto foi implantado na Itália e batizado de “Dancing with Nature”, tendo como característica uma arquitetura mais limpa e com o mínimo de material, como se vê na Figura 5.5. Esse projeto teve seu conceito baseado nos traços

de uma árvore, que deram origem a uma forma simples, flexível e leve, sem perder o caráter moderno e diferenciado.

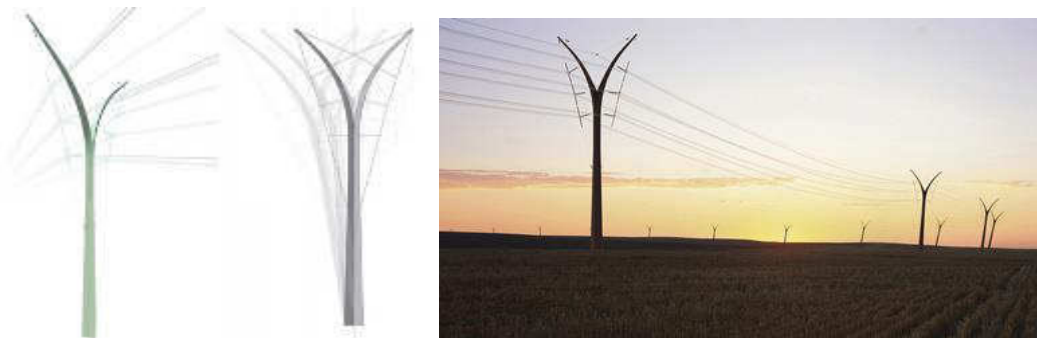


Figura 5.5: Projeto Dancing with Nature. (Fonte: www.dezeen.com)

Em 2011, o Reino Unido fez uma competição nacional para eleger um novo projeto de torre, tendo como campeã a estrutura proposta pela empresa dinamarquesa de engenharia Bystrup, que criou uma torre em formato de “T” (Projeto T-Pylon), de design simples, mas sofisticado, como mostra a Figura 5.6. Esse projeto foi criado para substituir as antigas torres padronizadas que foram implantadas durante a década de 20 na Europa. Ainda na mesma figura, foram feitas duas maquetes, onde se evidencia a diferença da torre convencional para a torre vencedora do concurso.

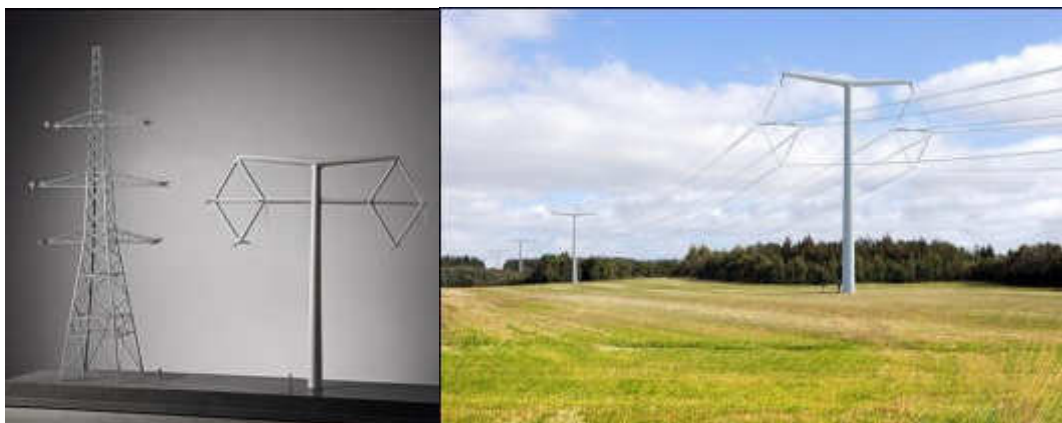


Figura 5.6: As antigas torres que foram implantadas durante os anos de 1920 e o Projeto T-Pylon.

(Fonte: eandt.theiet.org)

Inúmeras iniciativas similares para a criação de novos projetos de torres foram ou estão sendo realizadas em diferentes países. Isso mostra que existe a necessidade de que haja modificações graduais na paisagem e no ambiente em geral, à medida que evoluem as necessidades do homem e da própria cidade. Servem também para acabar com o

paradigma de que é impossível se criar um projeto que amenize os impactos das LT's em relação ao meio e à população, e ao mesmo tempo exerça as atividades às quais se destina.

5.3 Processo de Criação

“Diante da diversidade étnica e do dinamismo cultural que compõem o Brasil, pode-se imaginar a parcela de contribuição de cada uma das etnias para como o dinâmico processo de construção das várias identidades que compõem a grande identidade brasileira. A cultura material coletiva foi diversificada, ao longo dos séculos, em função das adversidades impostas pelo meio ao qual os diferentes povos tiveram que se adaptar. A transparência ou permuta de conhecimento tecnológico entre os que chegavam e os que já habitavam estas terras foi de grande importância para o surgimento de uma cultura material singular e dinâmica.” (NOGUEIRA[24])

Normalmente as linhas de transmissão se estendem por extensas áreas dotadas de distintos atributos estéticos, culturais, sociais e econômicos. Tem-se no Brasil, por exemplo, uma das maiores LT's do mundo, conhecida como “Linhão do Madeira” inaugurada no final de 2013. Cruzando o país de norte a sudeste, o “Linhão” vai da cidade de Porto Velho, Rondônia, até Araraquara no interior de São Paulo, com aproximadamente 2,4 mil quilômetros de extensão. É justamente pelo fato de uma mesma linha englobar diferentes regiões do Brasil que se torna inviável a criação de uma torre que consiga contemplar em sua essência a diversidade de configuração e formas de ocupação das cidades brasileiras.

Para achar uma melhor forma para se lidar com essa diversidade cultural, faz-se necessário que a nova forma da torre se fundamente em um símbolo que seja capaz de unir todas as diferenças existentes. Assim sendo, nada melhor do que partir de um ponto em comum entre todos os estados brasileiros, no caso a bandeira do Brasil, que representa a nação e que pode ser trabalhada ao longo do processo de criação da torre.

Sabe-se que a relação da forma da torre com a bandeira do país não é suficiente para criar uma identidade brasileira, mas é a essência do conceito para a concepção do design da estrutura. Assim, a nova torre terá seu partido fundamentado nos traços que originam as formas geométricas da bandeira (retângulo, losango e círculo), como mostra a Figura 5.7, tendo, portanto, o símbolo que carrega um pouco de cada região brasileira.

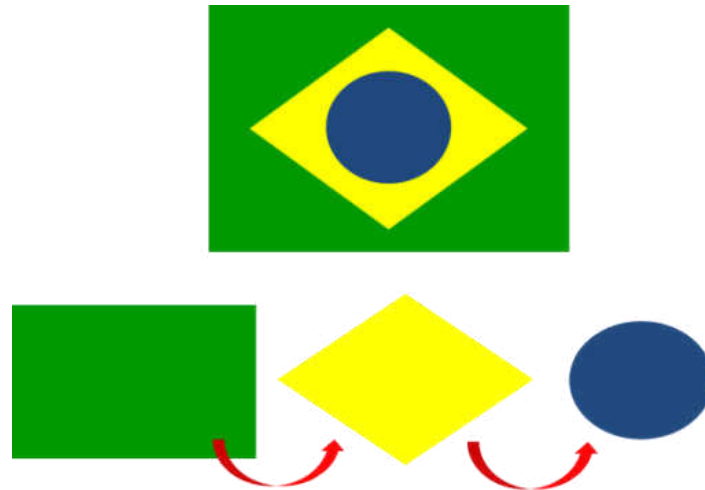


Figura 5.7: Bandeira do Brasil e suas formas geométricas.

5.3.1 A escolha do material

Na busca de uma opção que também contemplasse custos, praticidade, rapidez da obra e liberdade de criação do projeto, concluiu-se que o aço é o material ideal para atender a todas as solicitações da proposta (lembra-se aqui que as torres de transmissão convencionais de alta tensão também são feitas de aço). Outra característica relevante é o reduzido impacto que é gerado por esse material no ambiente e também seu melhor aproveitamento, fator que diminui o desperdício na obra. A durabilidade, resistência, desempenho e maleabilidade do aço também o tornam adequado para esse tipo de projeto.

É fundamental também a escolha do tipo de perfil que irá atender, de forma satisfatória, às questões estéticas e estruturais do projeto da torre para espaços urbanos. Por isso, optou-se pela utilização de perfis tubulares circulares laminados (Figura 5.8). Esses perfis, tendo em vista suas propriedades mecânicas, conseguem atender às necessidades estruturais do projeto, e proporcionam um visual agradável e diferenciado das demais torres confeccionadas com perfis abertos de aço, quase sempre cantoneiras.



Figura 5.8: Perfis tubulares circulares da Vallourec. (Fonte: www.vallourec.com)

Para a obtenção dos perfis de seção tubular circular, na maioria dos casos, o processo de fabricação se dá a partir da perfuração sob altas temperaturas de um tarugo em um equipamento denominado laminador-perfurador (Figura 5.9).



Figura 5.9: Processo de fabricação dos perfis tubulares circulares da Vallourec.

(Fonte: www.vallourec.com)

- Algumas das vantagens e benefícios da utilização dos perfis tubulares, foram listados a seguir pela Vallourec[33]:
- resistem de maneira econômica a esforços elevados de compressão, tração, torção e efeitos combinados;
- propiciam soluções leves e econômicas face à sua elevada resistência e a seu baixo peso próprio;

- traduzem aspecto arquitetônico arrojado e moderno;
- reduzem significativamente os desperdícios.

Outro ponto importante desses perfis é a possibilidade de curvamento (ver Figura 5.10), o que pode possibilitar, ainda mais, maior plasticidade ao design da nova torre de transmissão.



Figura 5.10: Curvamento de perfis circulares. (Fonte: sertub.com.br)

O material aço, cada vez mais presente nos projetos, traz novos conceitos e partidos para a arquitetura, dando maior liberdade no desenho conceitual da estrutura. É através dessa liberdade de criação que, nos dias de hoje, estão espalhados pelo mundo novas formas e conceitos da aplicação do aço na construção civil.

5.4 O Conceito

O projeto ganhará vida a partir das formas geométricas da bandeira, como explicitado anteriormente, onde essas formas serão submetidas a modificações, junções, adaptações e interações até que a silhueta da torre atenda à expectativa estética e às necessidades estrutural e elétrica.

Para que haja um melhor entendimento sobre o desmembramento das formas geométricas da bandeira, a Figura 5.11 mostra o que cada uma delas originou no processo de formulação do design da torre. De maneira simplificada, tem-se que:

- o retângulo serviu para dar forma à base e ao tronco inferior da estrutura;
- o losango deu forma a cabeça da torre;
- o círculo funcionou como elemento de ligação entre o tronco inferior e a cabeça da torre.



Figura 5.11: A geometria da bandeira e a torre.

5.5 O Desenvolvimento do Projeto

No desenvolvimento do projeto, tentou-se utilizar o mínimo possível de traços, o que, conseqüentemente, na proposta final acarretou na redução do número de perfis utilizados, mas ainda assim em quantidade suficiente para se chegar a um design marcante. Esse conceito parte do princípio de dar mais clareza ou até mesmo legibilidade à estrutura final, tentando amenizar ao máximo seus impactos no ambiente.

Através de estudos, desenhos e tentativas, foram gerados os primeiros croquis, onde surgiram esboços da nova forma de torre. Como a ideia foi partir das geometrias presentes na bandeira do Brasil, os primeiros traços em planta retrataram algumas dessas geometrias, como os esboços da Figura 5.12.

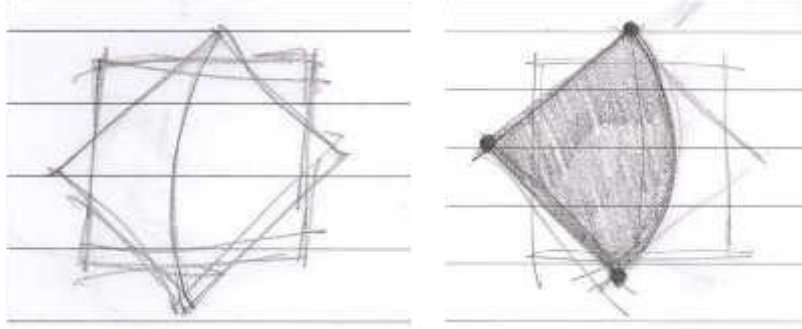


Figura 5.12: Desenvolvimento dos primeiros croquis (em planta).

De forma conjunta ao estudo em planta, as formas também foram representadas em elevação, para um melhor entendimento do todo gerado (Figura 5.13).

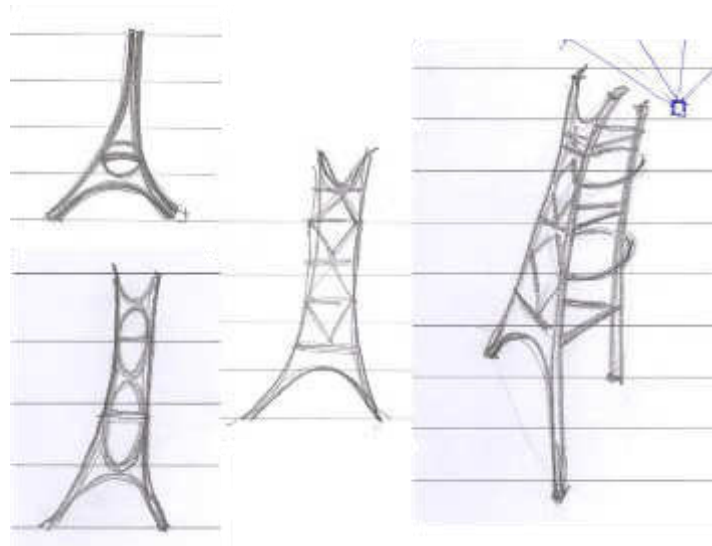


Figura 5.13: Desenvolvimento dos primeiros croquis (em elevação).

Após esse estudo inicial, algumas formas se destacaram, sendo que o partido ideado que trouxe traços racionais e orgânicos em sua composição pode ser visto na Figura 5.14. Ainda nessa imagem, deu-se início a novas preocupações como, por exemplo, a quantidade de perfis necessários para conceber a nova estrutura.

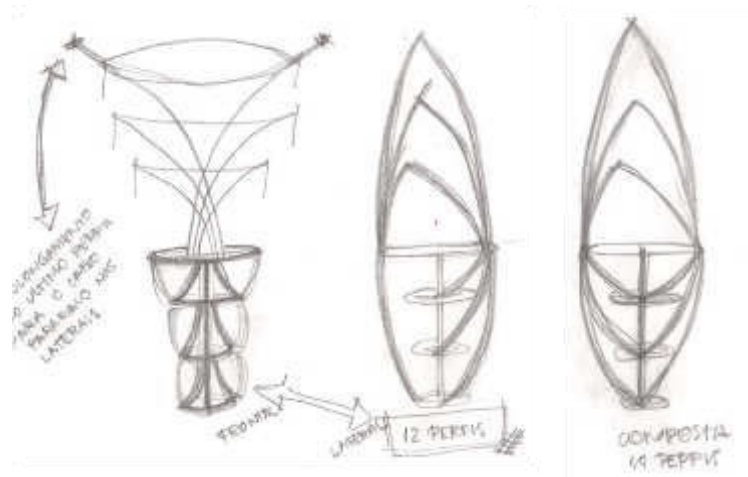


Figura 5.14: Análise da quantidade de perfis para formação da nova estrutura.

Além dos estudos já citados, houve a necessidade de serem feitas algumas alterações na base da estrutura, para que a novo design da torre atendesse de forma satisfatória às exigências impostas para esse tipo de estrutura. Na Figura 5.15 é possível notar a diferença entre as bases que foram apresentadas.



Figura 5.15: Estudo de novas possibilidades para a base da estrutura.

Dando continuidade à busca pela criação de uma base ideal para a estrutura, chegou-se ao formato da Figura 5.16. Deve ser ressaltada também a modificação feita na parte superior da torre, a cabeça. Visando a um modo de reduzir o custo da torre, a quantidade de perfis utilizados foi repensada. Sendo assim, sem descaracterizar o design, o número de perfis que compõem a cabeça da torre foi reduzido.



Figura 5.16: Estudo de modificação da cabeça e transformação da base.

Outras modificações ainda se fizeram necessárias em relação à base da estrutura, fato que pode ser melhor analisado com a confecção de maquetes físicas, como se vê na Figura 5.17. Nessa figura, a imagem de número 4, mostra a maquete já com a base final, com característica modular que visou simplificar o projeto para facilitar seu emprego em diferentes topografias.

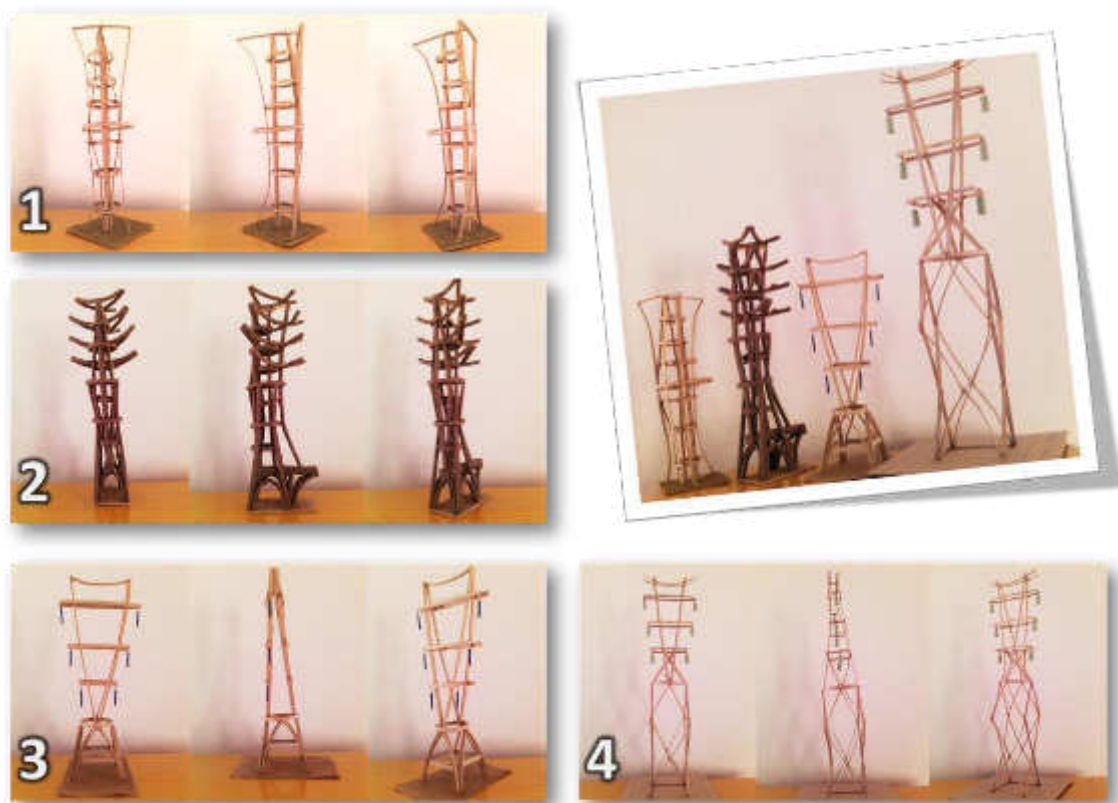


Figura 5.17: Estudo de forma através de maquete física.

Com o avanço do processo de criação pôde-se fazer uma evolução do design da torre, desde a primeira opção concebida até a forma final. Cada modelo representado na Figura 5.18 possui justificativas para não ter sido adotado e nem considerado como o design ideal, e mostra também a incessante busca pela melhor opção de projeto.

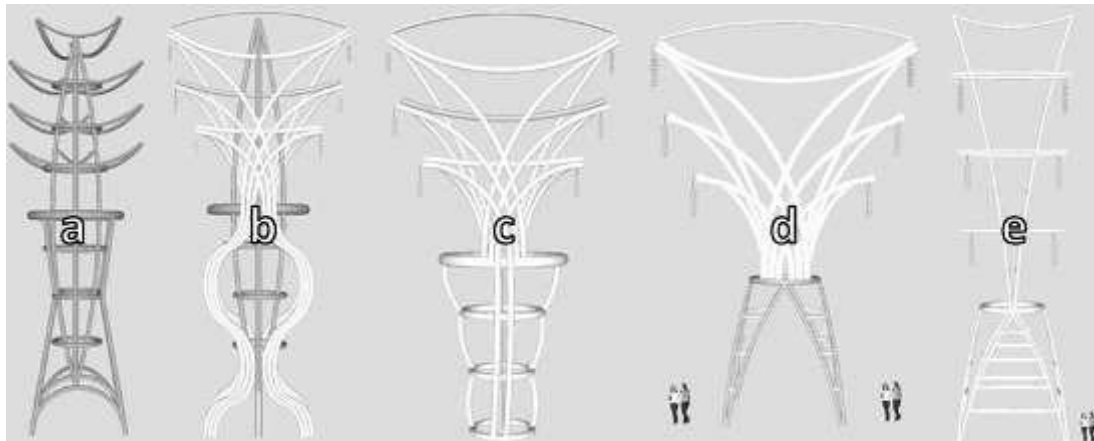


Figura 5.18: Evolução da forma ao longo da pesquisa.

No primeiro caso (Figura 5.18 (a)), a silhueta da estrutura remete à arquitetura oriental, fugindo do conceito básico que seria fundamentar a torre como um símbolo brasileiro e, além disso, o ângulo das mísulas não é o suficiente para atender aos requisitos elétricos quanto ao balanço da cadeia de isoladores e do cabo condutor. Os três modelos seguintes da Figura 5.19 já não apresentam problemas relacionados à parte elétrica, porém possuem alguns inconvenientes, um relacionado à quantidade de perfis utilizados, o que aumentaria o peso e o custo, e outro com a base, que não leva em consideração possíveis modificações da altura conforme existam mudanças na topografia do terreno.

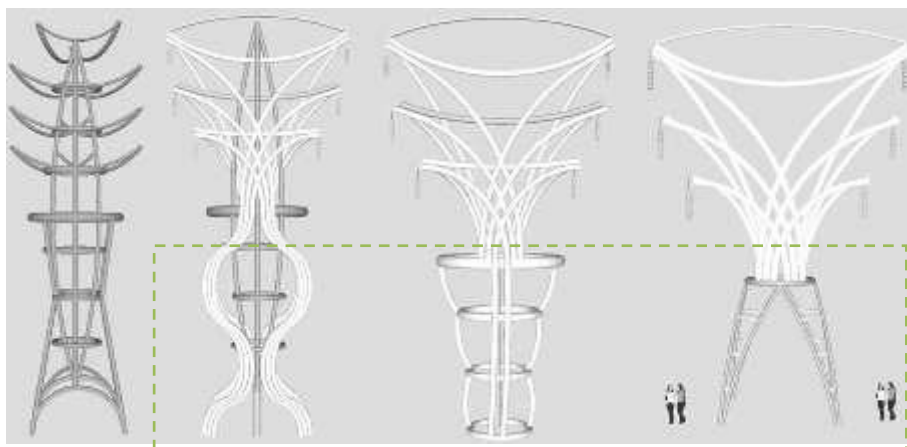


Figura 5.19: Primeiro formato e as formas intermediárias.

O quinto e último modelo dessa linha evolutiva (Figura 5.20) possui um grande diferencial em relação aos demais, uma vez que a quantidade de perfis que utiliza é visivelmente menor, porém a base ainda apresenta os mesmos problemas dos modelos anteriores.

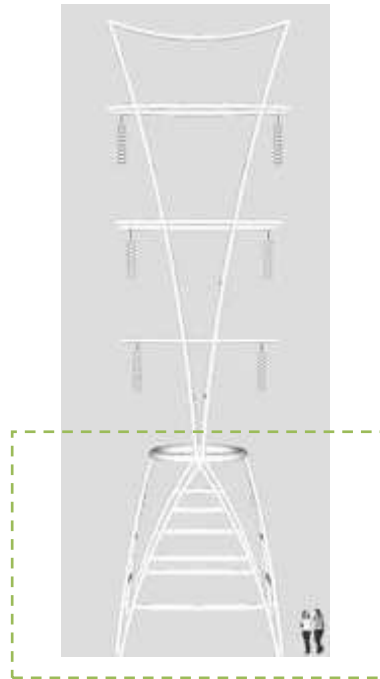


Figura 5.20: Quinta forma.

Como a última forma só apresentou a necessidade de alteração na base, ela foi a escolhida para ser aprimorada. Na Figura 5.21, é possível notar as adequações que foram feitas. A primeira foi a adição de perfis estruturais que fazem a ligação entre o anel central e a mísula inferior, para que a torre tenha maior capacidade de suportar os esforços transversais. A segunda foi na base, que se tornou modular, podendo sofrer alterações em sua altura conforme diferentes topografias por onde a linha necessite passar, sem que o projeto sofra interferências em suas demais partes.

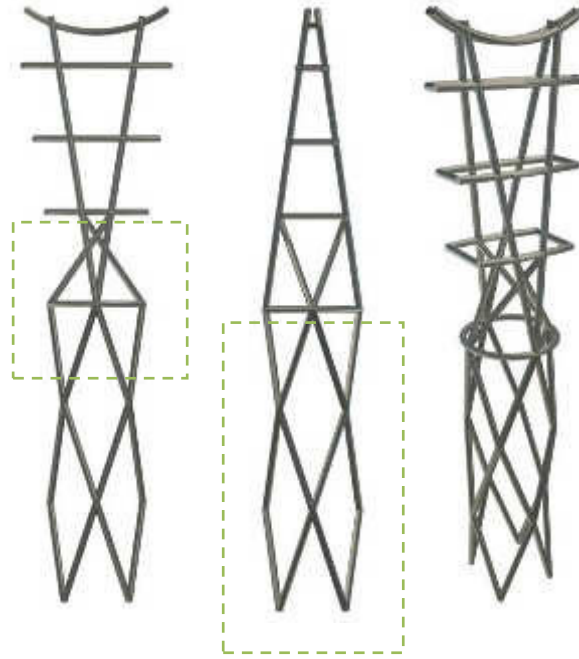


Figura 5.21: Vistas da estrutura da torre.

O conceito do design da estrutura, como já explicado, baseou-se nas geometrias presentes na composição da bandeira brasileira. Para entender melhor como tais formas deram origem à estrutura final pode-se observar a Figura 5.22.

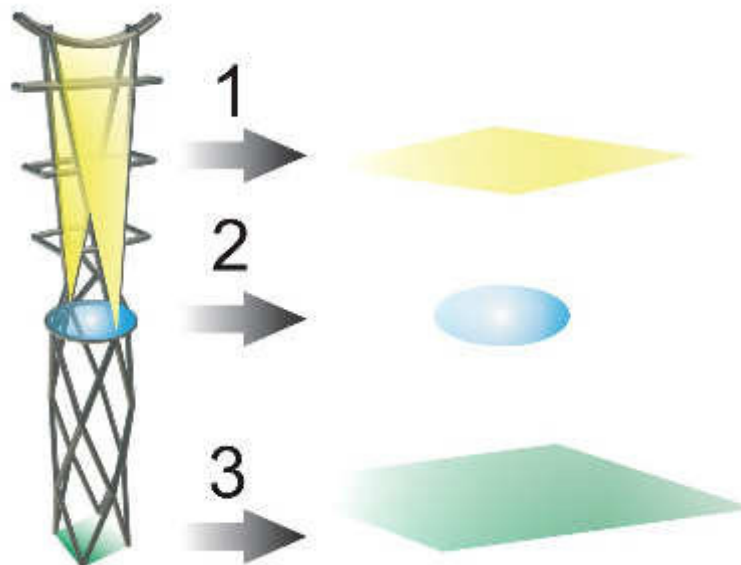


Figura 5.22: A estrutura e as geometrias da bandeira do Brasil.

Nessa imagem, a torre foi dividida em três partes, em que a primeira remete aos dois triângulos que formam o losango, a segunda é o elo que faz a conexão entre as demais partes da estrutura, formada por uma circunferência, tal como a presente no centro da

bandeira, e a terceira e última parte é o tronco inferior da torre, onde os vértices dos perfis ao fixarem no solo formam um quadrado que dá origem ao retângulo. Por fim, a união das partes da estrutura compõe as formas geométricas da bandeira.

5.5.1 Considerações sobre a estrutura

Após a definição da estrutura é importante a identificação dos elementos, assim como as características que foram adotadas para o novo projeto. Na Figura 5.23, é possível ver a localização de alguns elementos e a divisão da torre em duas partes: tronco inferior e cabeça. O tronco inferior é composto por módulos que dão origem à base da estrutura. Já a cabeça da torre é constituída pelo tronco da cabeça, perfis interligados formando as mísulas, que por sua vez sustentam as cadeias de isoladores e os cabos condutores e, na extremidade superior, pelo perfil que receberá o cabo para-raios.

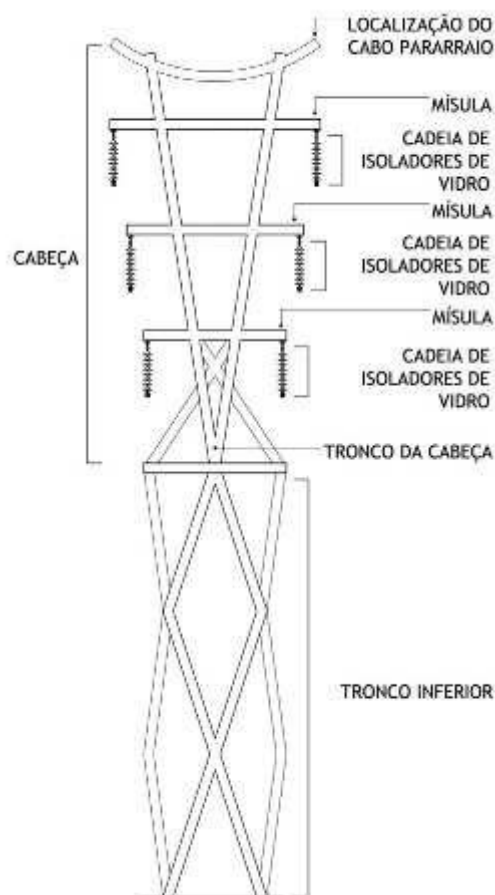


Figura 5.23: Subdivisões e elementos que compõe a estrutura.

A torre não poderá ser classificada segundo seu formato, uma vez que a proposta é a criação de uma nova silhueta para a torre, o que a torna diferente dos modelos

padronizados existentes. Porém, foi a partir de um conjunto de características básicas detalhadas a seguir, que serviram de referência para a classificação da estrutura. Desse modo, pode-se classificá-la quanto ao número de circuitos, à disposição dos cabos condutores e à função. Outras definições importantes são a tensão de operação, que no caso será a de 138 kV (tensão mais comum dentro de áreas urbanas), a forma de trabalho da torre, que será autoportante, e a função do suporte na linha que é a de suspensão (Figura 5.24).

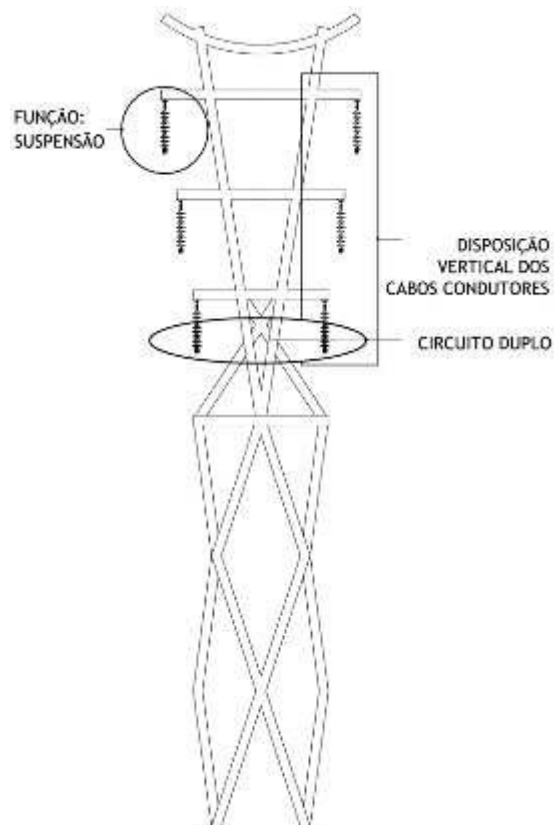


Figura 5.24: Classificação da estrutura.

As barras que compõem as estruturas das torres de transmissão geralmente são galvanizadas, para evitar corrosão, ficando com uma coloração cinza meio brilhante (o brilho diminui com o passar do tempo). A nova torre pode ser também galvanizada, mas opcionalmente pode ser pintada (para uma maior proteção contra corrosão, pode inclusive ser galvanizada e, posteriormente, pintada), para ficar com um aspecto visual ainda mais inovador. Nesse caso, como trabalhou-se aqui com a bandeira do Brasil, sugere-se usar uma das três cores presentes nela (verde, amarelo ou azul). A Figura 5.25 mostra, como ilustração, o visual da nova torre com essas três cores.

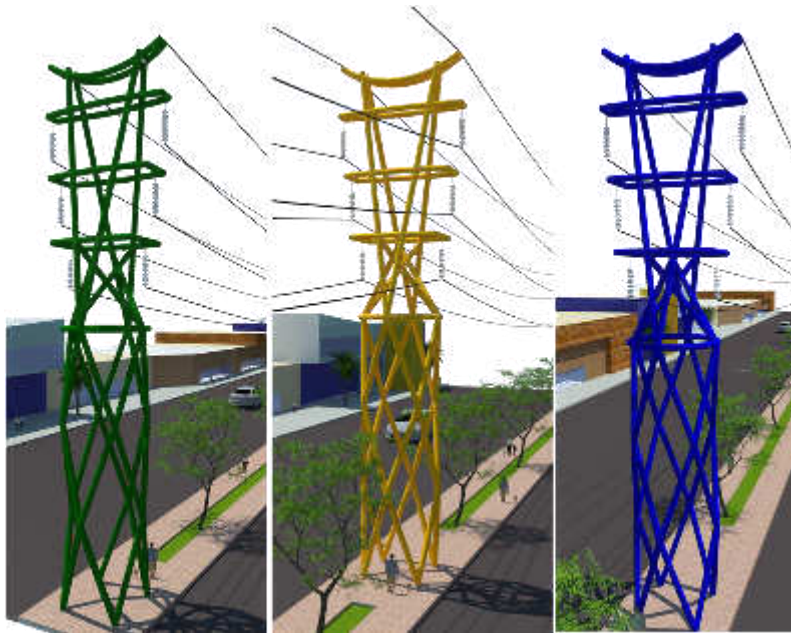


Figura 5.25: Opções de cores individuais.

As linhas de transmissão podem ter as torres todas de uma só cor ou, até, usar intercaladamente, as três cores conforme ilustra a Figura 5.26.



Figura 5.26: Proposta de cores para a estrutura.

5.5.2 A relação da estrutura com o meio

Considerando a escala do objeto, a interferência que ele causa na paisagem urbana é inevitável e bastante significativa, porém tentou-se ao máximo desenvolver, neste

trabalho, um design que fosse mais elegante, de traços suaves e que não causasse uma depreciação no ambiente ao qual se insere.

Na Figura 5.27, foi feita uma montagem que retrata a atual situação do cruzamento entre as avenidas Babita Camargo e General David Sarnoff, localizadas no bairro Cidade Industrial em Contagem, Minas Gerais. Nessa mesma imagem, criou-se também uma situação na qual a estrutura da LTA existente foi substituída pela nova, para mostrar o contraste entre as diferentes intervenções e como a nova estrutura se relacionaria com o ambiente urbano.



Figura 5.27: Situação atual (antes) e a nova estrutura inserida no meio urbano (depois).

Sabe-se que apenas um novo design para a torre não é o suficiente para que haja mudanças drásticas nos cenários urbanos, uma vez que, são necessárias políticas e ações diversas para oferecer condições melhores à população.

Um dos desafios citado ao longo do trabalho foi a questão da disputa por espaço nas cidades, o que gera invasões em áreas restritas. Essa situação em específico não pode ser sanada apenas com uma nova torre, pois trata-se de um problema mais amplo que exige melhorias das políticas de planejamento urbano.

Quando a linha é construída com o intuito de aprimorar a qualidade de vida da população no geral, e tenta-se de alguma forma melhorar a relação dela tanto com o ambiente urbano quanto com as pessoas que são afetadas de forma direta pela intervenção, o empreendimento só tem a contribuir com o desenvolvimento e crescimento das cidades.

Uma estrutura visualmente mais leve e limpa, que apresenta uma melhor comunicação com o entorno, consequentemente consegue amenizar os impactos no ambiente urbano. Com a transformação do suporte, a LTA deixou de ser apenas um equipamento urbano padronizado e imposto ao meio, mas sim um elemento que buscou compreender as necessidades do espaço e da população e refletir sobre elas, podendo ainda vir a ser um marco e uma referência na cidade.

“O Homem erudito é um descobridor de fatos que já existem – mas o homem sábio é um criador de valores que não existem e que ele faz existir.” (Albert Einstein)

Capítulo 6

DESEMPENHO ELÉTRICO FRENTE A DESCARGA ATMOSFÉRICA

6.1 Introdução

Linhas de transmissão são dispostas sequencialmente, como sistemas em paralelo formados por componentes nos quais sua falha individual implica na falha do todo. Nesse contexto, uma falha pode acarretar sérios problemas de ordem econômica e social, interrompendo processos produtivos industriais, comprometendo aparatos de saúde, segurança e a confiabilidade do sistema, entre outros, causando assim, transtornos tanto para a concessionária de energia quanto para os consumidores no geral.

No desenvolvimento de qualquer projeto de linha de transmissão, é fundamental que seja feito um estudo de desempenho, independente de possuírem suportes padronizados ou não. Por se tratar de uma torre com design fora dos padrões brasileiros empregados no setor elétrico com características específicas, é importante que sejam apresentados aqui dados a respeito de seu desempenho frente a descargas elétricas. Esse estudo faz-se necessário uma vez que, independentemente de terem sido feitas algumas modificações na forma da estrutura, o projeto deve estar dentro dos padrões básicos de operação de uma linha.

Assim sendo, busca-se aqui a otimização da cabeça da torre (parte superior da estrutura que recebe o cabo-guarda), visando o melhor desempenho elétrico da linha frente aos deligamentos causados por descargas atmosféricas. Faz-se necessário, portanto, a compreensão de um dos mais influentes mecanismos de desligamento devido a incidência de descargas, que é o desligamento por falha de blindagem, sendo a redução do número dessa falha o foco deste capítulo.

6.2 Mecanismos de desligamento de linhas de transmissão

Existem diferentes tipos de mecanismos ou fenômenos que podem ocasionar o desligamento, ou seja, fatos que conseguem interromper por algum motivo a continuidade da transmissão elétrica de uma LT, os quais serão abordados a seguir.

A “falha” em uma LT, segundo MADURO-ABREU[22], é o efeito ou consequência de ocorrência em equipamento ou linha de transmissão, em função de algum fenômeno que acarrete sua indisponibilidade operativa em condições não programadas e que, por isso, impede o equipamento ou a linha de transmissão de desempenhar suas funções em caráter permanente ou temporário.

Dentro do sistema de transmissão pode ocorrer o desligamento forçado, onde através de um mecanismo de falha ou da própria concessionária, em procedimentos operacionais de emergência, consegue retirar de serviço um equipamento ou LT, em condições não programadas. Diferente do desligamento programado, que é uma situação planejada, a necessidade em se fazer um desligamento de caráter emergencial é devido à alguma situação inesperada que ocorra com o equipamento ou a linha e visa evitar possíveis riscos à pessoas, ao meio ambiente, danos ao equipamento, entre outras consequências ao sistema elétrico.

A Tabela 6.1, a partir de dados da ONS[27], apresenta valores limites aceitáveis para o número de desligamentos praticados por concessionárias de energia brasileiras em função da classe de tensão da LT e da extensão da linha. Esses valores são calculados para garantir o melhor desempenho da linha. Ainda sobre as informações contidas na tabela, é possível notar que, quanto maior é a tensão de operação da linha, menor é o número de desligamentos aceitáveis, uma vez que a proporção dos transtornos acarretados ao sistema de transmissão quando há falhas em linhas que operam com tensões mais elevadas são maiores.

Tabela 6.1: Relação de desligamento máximo com a tensão de operação da Linha de Transmissão.

(Fonte: ONS)

Nível de tensão de operação da linha	Número máximo de desligamentos (d/100 km/ano)
69	10-15
138	10
230	5
345	2-3
500	1-2

Através da Figura 6.1, é possível notar o quanto as perturbações causadas por descargas atmosféricas, também conhecidas como raios, em uma LTA possuem valores significativos comparados as demais perturbações. Justamente por serem valores tão representativos, faz-se necessário um estudo mais específico sobre esse fenômeno, uma vez que o bom funcionamento da linha previne futuros transtornos relacionados há problemas com o fornecimento de energia elétrica aos consumidores. De forma complementar SILVA[31], diz que:

“Como aspecto relevante para a engenharia elétrica, o fenômeno descarga atmosférica constitui-se na principal fonte de desligamentos não programados de linhas de transmissão e de redes de distribuição. Tais desligamentos correspondem a um importante fator de comprometimento da disponibilidade de energia elétrica e de sua qualidade”.

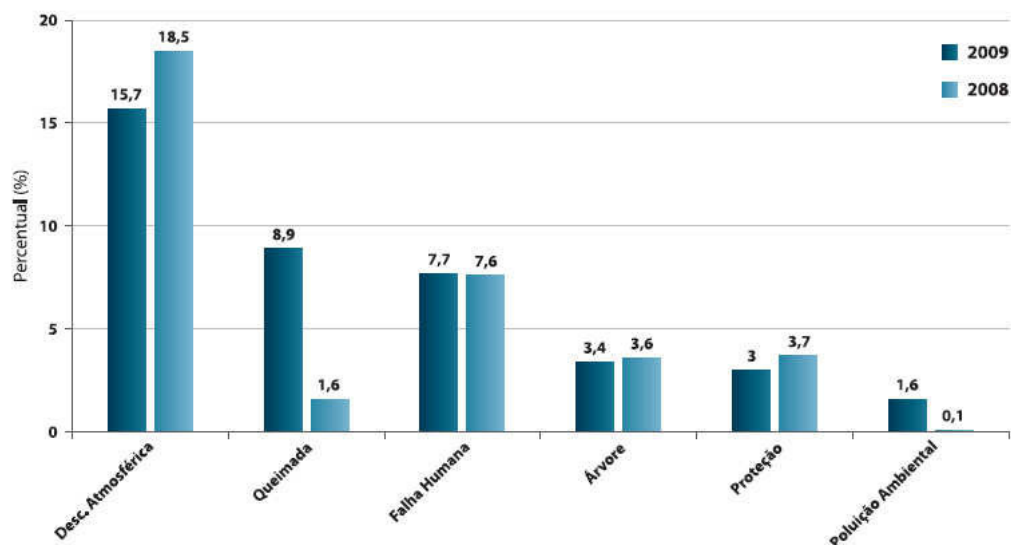


Figura 6.1: Causas das perturbações em % no período 2008 e 1º semestre de 2009. (Fonte: ONS).

As grandes extensões de linhas determinam uma probabilidade significativa de incidência direta de descargas atmosféricas sobre elas SILVA[31], ressalta que:

“Conhecer a dinâmica que envolve os desligamentos das linhas de transmissão por descargas atmosféricas permite identificar as ações mais eficazes para melhoria do desempenho das linhas de transmissão em termos da qualidade de energia entregue as cargas consumidoras levam em conta o tempo de duração e o número de desligamentos de cada linha de transmissão. Considerando a grande quantidade de desligamentos não programados ocasionados pelas descargas atmosféricas, o estudo deste fenômeno se faz necessário para a definição de práticas consistentes, capazes de contribuir na melhoria dos índices de desempenho das linhas de transmissão”.

Como abordado no Capítulo 2 deste trabalho, sabe-se que o cabo-guarda é um condutor instalado no topo do suporte e conectado à terra para fornecer um caminho de menor resistência às descargas atmosféricas, caso incidam na linha, protegendo assim os cabos-fase. Eventualmente uma descarga pode atingir diretamente um dos cabos-fase, segundo SILVA[31], quando a linha não possui cabo-guarda ou devido à falha no sistema de blindagem. Usualmente, a falha do sistema de blindagem ocorre quando a descarga é

capaz de penetrar na área protegida e atingir os condutores energizados. Esse fenômeno é caracterizado como uma falha de blindagem (*shielding failure*), fazendo com que o projeto da linha deva ser tal que minimize a probabilidade de ocorrer esse tipo de falha no sistema de transmissão.

Além da falha de blindagem, existem outras situações que podem resultar em desligamento da linha, como consequência de uma descarga atmosférica. Porém, esses outros fenômenos não serão abordados neste trabalho, uma vez que envolvem informações específicas sobre as características do terreno no qual a linha será implantada. Por se tratar de um trabalho acadêmico, onde o foco era a criação de uma nova torre, não existe um local específico para a implantação da linha, tornando necessário utilizar-se de algumas simplificações, tais como a captura de dados e informações de linhas já existentes como parâmetro.

Nota-se aqui a importância das descargas atmosféricas sobre uma LTA, comprovando assim a relevância da investigação de medidas que possam reduzir a frequência deste tipo de desligamento forçado. É importante ressaltar também a complexidade do fenômeno das descargas atmosféricas, por tratar-se de uma ocorrência de natureza aleatória, o que dificulta a sua análise.

6.3 O desempenho elétrico da nova torre

A linha, por percorrer grandes distâncias e por estar mais exposta a situações adversas, é o elo mais fraco da transmissão. Dessa forma, procurar alternativas para a proteção dessa parte do sistema é essencial para evitar as falhas, porém uma consideração deve ser feita sobre o nível de proteção adequado, pois as vezes é melhor que a falha ocorra na linha do que nas estações, o que ocasionaria prejuízos de proporções maiores. Existem várias situações nas quais a necessidade de proteção contra descargas atmosféricas é mais evidente, como é o caso de estruturas localizadas em áreas de grande afluência de público, situação contínua em uma LTA urbana, o que representa mais um dos desafios para a inserção da nova torre.

Para as concessionárias de energia elétrica, a decisão de proteger uma linha e garantir o desempenho das LT's é uma preocupação constante e de suma importância. De forma complementar, SILVA[31] aponta que:

“O crescente aumento da tecnologia e a preocupação em confiabilidade dos sistemas de transmissão de energia elétrica levam cada vez mais todas as empresas a investirem em informações, possibilitando o estudo de seu comportamento, além de prever e marcar seus pontos mais críticos de forma técnica e eficiente.(...)”

Outro fator que influenciou nessa busca por melhorias no sistema foi a resolução normativa da ANEEL[1] de nº270, que colocou em vigor a parcela variável por indisponibilidade, penalidade financeira nos faturamentos, destinada as concessionárias que excedem os tempos máximos de desligamento permitidos pelo órgão regulador. Porém, existe também a necessidade de reduzir a probabilidade dos prejuízos da concessionária com interrupções do fornecimento de energia, danos aos equipamentos e garantir a segurança da linha e de terceiros.

Os parâmetros que podem influenciar no desempenho da linha estão essencialmente relacionados com a geometria da torre, as características do condutor, isolamento, resistividade do solo, etc. Por se tratar de um novo design de estrutura é indispensável que seja apresentado um estudo sobre o desempenho do mesmo, para adaptá-lo às exigências normativas do setor elétrico no que se refere à confiabilidade do sistema.

Como a intenção era a de reduzir a ocorrência da falha de blindagem no sistema, o que pode vir a influenciar de forma direta no desempenho elétrico da linha, a partir de um trecho de SILVA[31] é explicado a seguir um dos procedimentos mais utilizados para combater esse tipo de falha:

“A metodologia mais aplicada na proteção contra a falha de blindagem é a instalação de cabos-guarda, que são diretamente

ligados às estruturas aterradas ao solo através dos sistemas de aterramento, como visto no Capítulo 2, atuando assim sobre os condutores energizados. A utilização destes cabos é muito comum em linhas de tensão de operação superior a 69 kV, mas apesar de ser uma prática de proteção muito usual, ela por si só não é capaz de eliminar a falha. Em certas situações as descargas atmosféricas são capazes de vazar a blindagem”.

6.3.1 Análises no Flash

O FLASH[14], programa escolhido para trabalhar essa parte do projeto, utiliza como interface com o usuário uma planilha Excel, e serviu para auxiliar a análise do desempenho elétrico da nova estrutura. No programa, é possível estimar o número de desligamentos devido a descargas elétricas, onde o objetivo aqui é o de minimizar ao máximo os números referente à falha de blindagem, definindo assim a melhor localização do cabo-guarda no suporte, para atender aos critérios previstos por norma de desempenho face a surtos atmosféricos.

A análise contemplou um mesmo arranjo para a disposição dos condutores com três possibilidades para a localização do cabo-guarda (Figura 6.2). Essas hipóteses foram montadas para descobrir a composição que garantiria o melhor desempenho da linha, quanto à falha de blindagem. Por se tratar de um trabalho acadêmico, a realização desse cálculo irá considerar algumas simplificações, como dados referente ao terreno de implantação da linha.

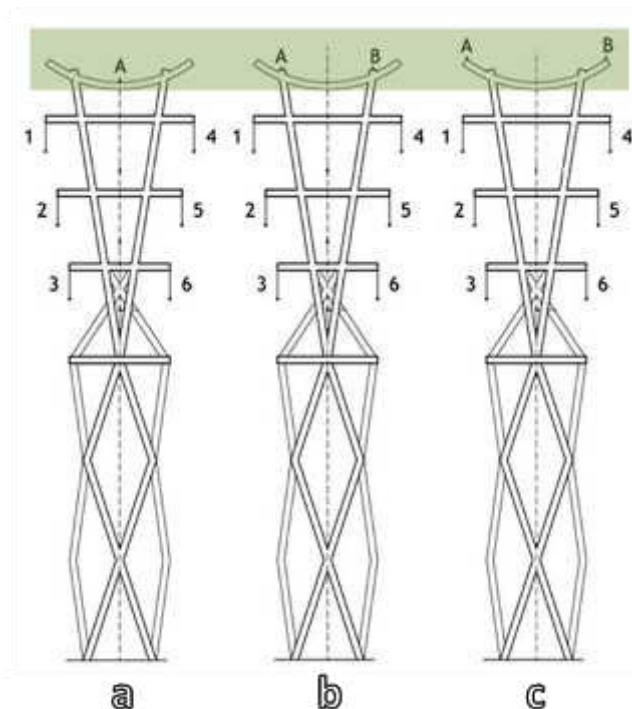


Figura 6.2: Hipóteses de arranjo para cabo-guarda.

A Figura 6.3, mostra o exemplo de uma planilha do excel que recebeu os dados de entrada de uma estrutura qualquer que foi analisada. Constam as especificações da torre, informações necessárias para se obter os valores referentes ao desempenho elétrico da linha.

Title		EHV - Pagina 57A - Caso Padrão		Program Path		c:\flash\flash.exe	
GFD [per sq km]	3,5	English Units		Scratch Input File	c:\flash\test1.dat		Run
Span [m]	335	Metric Units		Scratch Output File	c:\flash\test1.out		
Conductors							
Diameter [mm]	14,0	# Bundled	2				
Sag [m]	7	Spacing [mm]	457,2				
Index	X [m]	Y [m]	SI [m]	KV	Angle	AC/DC?	
1	-5,5	33,8	2,8	345	0	ac	
2	-8,6	27,4	2,0	345	-120	ac	
3	-5,8	21,3	2,8	345	120	ac	
4	5,5	33,8	2,8	345	120	ac	
5	8,6	27,4	2,0	345	-120	ac	
6	5,8	21,3	2,0	345	0	ac	
7							
8							
9							
10							
11							
12							
Tower Model							
Height	39,3 [m]	Do Not Edit:					
Base Diameter	10 [m]	1 - Cone					
not used-	0 [m]	2 - H Frame					
not used-	0 [m]	3 - Cylinder					
not used-	0 [m]	4 - Waist					
Shield Wires							
Diameter [mm]	4,5						
Sag [m]	1,4						
Index	X [m]	Y [m]					
1	-5,5	39,3					
2	5,5	39,3					
Exposed Conductors							
Index	Conductor	Shield Wire	Shielding Angles				
1	2	1	Required	Actual			
2	5	2	9,07	11,21			
3			8,07	11,21			
4							
Footing Resistances							
Percentage (%)	Ohms	Flashover Rates					
100	16,5	Backlash	1,11	/100 km/yr			
		Shielding Failure	0,02	/100 km/yr			
		Total	1,13	/100 km/yr			
Check Sum: 100							

Figura 6.3: Divisão dos dados de entrada do FLASH.

Para melhor entendimento a respeito dos campos de preenchimento da planilha da Figura 6.3, foram feitas algumas divisões para facilitar a explicação. Essas divisões foram classificadas da seguinte forma:

Campo “A” – espaço inicial para escolher a unidade de trabalho e colocar o valor da distância entre os suportes da linha de transmissão.

Campo “B” – área a ser preenchida com os dados do cabo condutor, incluindo tanto características mecânicas quanto as coordenadas de suas respectivas posições no arranjo da estrutura. Informações relacionadas à tensão de operação, comprimento da cadeia de isoladores, tipo de corrente (contínua/alternada) e formato do suporte também são contempladas nesse item.

Campo “C” – esse campo recebe informações do cabo-guarda, incluindo tanto características mecânicas quanto as coordenadas de seu respectivo posicionamento no arranjo da estrutura. Nessa mesma área é possível gerar quatro tipos de combinações entre as coordenadas do cabo-guarda e do cabo condutor para achar o ângulo de blindagem (ângulo de proteção formado pelo cabo-guarda sobre o cabo condutor ver Figura 6.4) para cada combinação especificada pelo usuário.

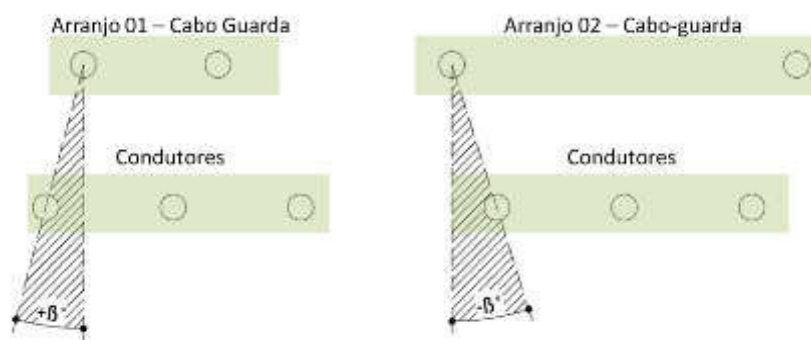


Figura 6.4: Ângulo de blindagem que o cabo-guarda faz sobre o cabo condutor em uma LT.

Campo “D” – local para inserir dados referentes aos aterramentos das estruturas.

Campo “E” – destinado à apresentação do resultado do desempenho elétrico do elemento analisado.

Na Figura 6.5, tem-se exposto o resultado com a melhor combinação encontrada para a localização do cabo-guarda. No Apêndice A, encontram-se os resultados obtidos das análises para as demais hipóteses criadas.

Index	X [m]	Y [m]	SI [m]	kV	Angle	AC/DC?
1	-3.1	21.35	1.2	138	0	ac
2	2.6	18.25	1.2	138	-120	ac
3	-2.1	15.15	1.2	138	120	ac
4	3.1	21.35	1.2	138	120	ac
5	2.6	18.25	1.2	138	-120	ac
6	2.1	15.15	1.2	138	0	ac

Index	Conductor	Shield Wire	Required	Actual
1	1	1	-6.45	2.99
2	3	1	4.81	-5.02
3	5	2	-0.39	-2.97
4	4	2	-6.45	2.99

Percentage (%)	Ohms	Flashover Rates
100		Backflash
		Shielding Failure
		Total

Figura 6.5: Dados e resultados da terceira hipótese analisada.

Chegou-se à conclusão que, para o novo design da torre a melhor hipótese dentre as três aqui propostas para a localização do cabo-guarda foi a terceira, onde a localização deste cabo encontra-se nos extremos do perfil superior da torre (Figura 6.2(c)). A planilha da Figura 6.5 apresentou dois resultados:

- O primeiro, indicado pelo quadro de número 1 da imagem, refere-se ao ângulo de blindagem do cabo-guarda sobre o cabo-fase. Algumas combinações foram feitas para serem analisadas e obteve-se diferentes resultados, sendo que para alguns condutores a posição do cabo-guarda conseguiu a blindagem efetiva sobre o condutor, situação que correu entre a relação do cabo-guarda “2” e o condutor de posição “5”. Encontrou-se também alguns condutores expostos, como é o caso do condutor localizado na posição “1” em relação ao cabo-guarda “1”, onde o condutor exigia um ângulo negativo e o ângulo atual é positivo. Porém, a existência desses cabos expostos não foi suficiente para interferir no resultado do desempenho da linha face à falha de blindagem, como explicitado a seguir.

- O segundo resultado, indicado pelo quadro de número 2 da imagem, refere-se ao desempenho elétrico da linha analisada. Antes de apresentar os valores é importante saber o número de desligamentos para o projeto desenvolvido. Sabe-se que, a tensão de operação aqui trabalhada é a de 138 kV, para a qual são aceitos 10 desligamentos/100 km/ano (valor retirado da Tabela 6.1). Como informado anteriormente, o objetivo era minimizar os valores de falha por blindagem, e com este arranjo conseguiu-se chegar à um valor nulo de desligamento, fazendo com que os desligamentos por falha de blindagem não sejam um problema no desempenho da linha.

Ao final do processo para otimização da cabeça da torre, o resultado mostrou que, tanto o arranjo proposto dos cabos condutores quanto a disposição do cabo-guarda são ideais para se garantir um bom índice de desempenho da linha face à falha de blindagem. Chega-se a conclusão de que, independente da estrutura possuir um formato fora dos padrões geralmente empregados em uma LT, foi alcançado um resultado aceitável dentro dos limites aceitáveis de desempenho.

“A imaginação é mais importante que a ciência, porque a ciência é limitada, ao passo que a imaginação abrange o mundo inteiro.”

(Albert Einstein)

Capítulo 7

O DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA

7.1 Introdução

Com o intuito de obter os esforços atuantes sobre uma estrutura de suspensão de LT, este capítulo aborda os carregamentos e as hipóteses de cargas que usualmente são aplicados nas estruturas, afim de dimensionar a nova torre.

“Em linhas de transmissão, as estruturas sofrem dois tipos de esforços mecânicos: os causados pela própria estrutura, tais como o peso próprio e os esforços causados pelo vento; e os esforços transferidos à estrutura pelos cabos condutores e para-raios”.
(BEZERRA[5])

O dimensionamento busca a obtenção das respostas da estrutura frente aos esforços solicitantes, para que seja possível chegar a um peso e valor estimado de custo da estrutura.

7.2 Carregamentos

De acordo com o projeto básico de uma LT, as estruturas de suporte são dimensionadas para suportar as forças provenientes dos cabos condutores e para-raios e da cadeia de isoladores, do peso próprio da estrutura e as forças de vento incidente diretamente na torre.

Para melhor entendimento, a Figura 7.1 mostra as forças impostas pelos cabos à estrutura. Nos itens a seguir encontram-se mais informações sobre tais forças.

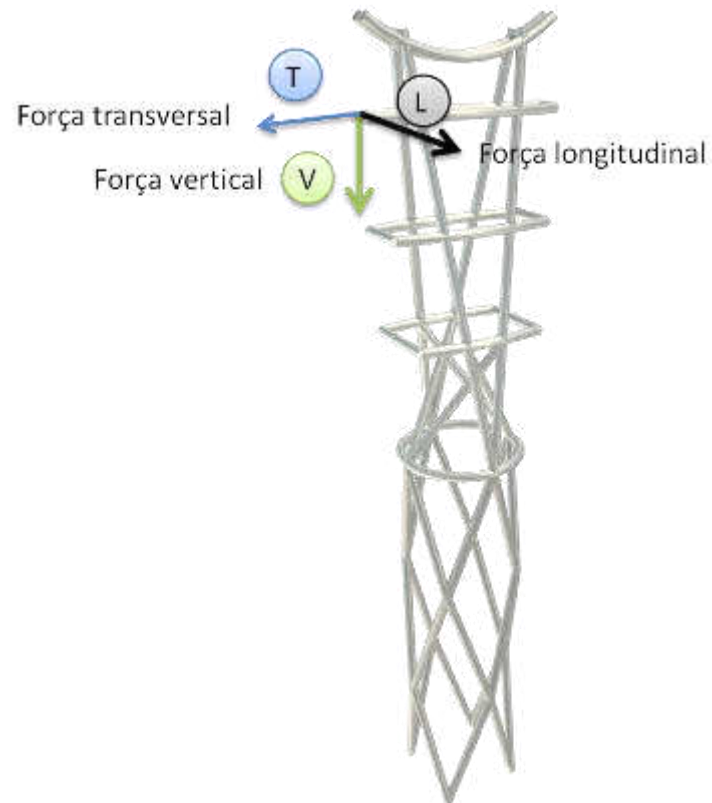


Figura 7.1: Ações atuantes na torre.

7.2.1 Ações verticais

As forças verticais atuantes nas torres são devidas ao peso da cadeia de isoladores e suas ferragens, ao peso dos cabos condutores e para-raios, além do peso próprio da torre.

Nas torres de suspensão os cabos ficam pendurados nas cadeias de isoladores, estas por sua vez ficam na posição vertical, podendo suportar uma movimentação na direção transversal à linha de transmissão, o que ocorre devido à ação do vento nos cabos. (Figura 7.2)



Figura 7.2: Movimentação da cadeia de isoladores.

7.2.2 Forças longitudinais

Por se tratar de uma torre de suspensão, geralmente os esforços longitudinais devidos ao cabo são equilibrados (resultante horizontal) em sua fixação na cadeia de isoladores. Porém, pode ocorrer um desequilíbrio, a partir do momento em que ocorre uma variação desigual de temperatura em vãos adjacentes. Isso também pode acontecer quando o vento atua sobre os cabos. Como os vãos entre as torres urbanas são pequenos, se comparados aos vãos dos trechos de linhas rurais, esses efeitos ficam reduzidos, ao contrário de situações em que os vãos sejam muito diferentes, onde um desequilíbrio de cargas pode ocorrer com maior frequência (Figura 7.3).

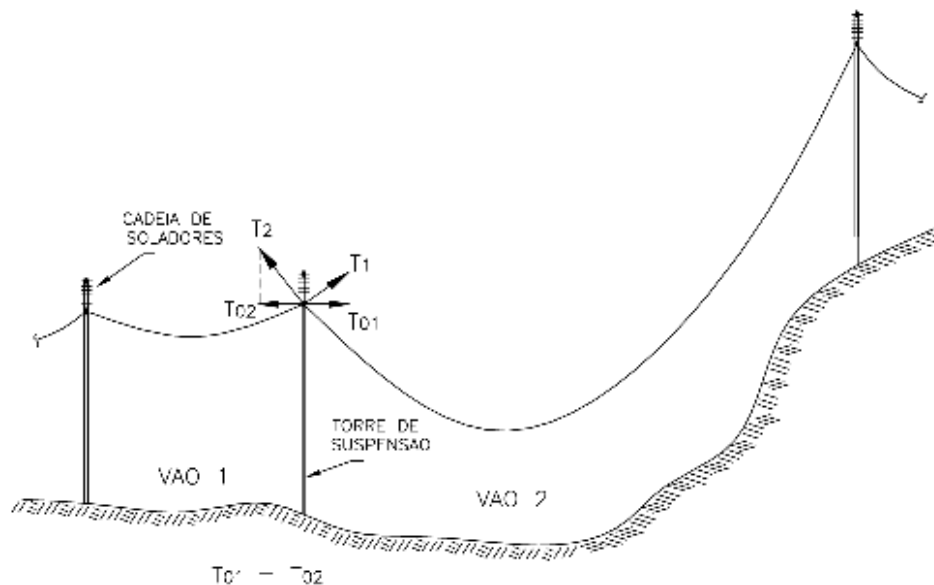


Figura 7.3: Diferença grande entre vãos - desequilíbrio dos esforços. (Fonte: CHAVES[8])

Segundo CHAVES[8], essas forças longitudinais, que solicitam as torres têm seus valores máximos quando há o rompimento de cabo em um vão, permanecendo as forças do vão adjacente atuando. Normalmente, essa é uma condição crítica para o cálculo da torre e suas fundações. Quando um cabo condutor se rompe há uma redistribuição de esforços longitudinais por causa do reposicionamento da cadeia de isoladores (Figura 7.4).

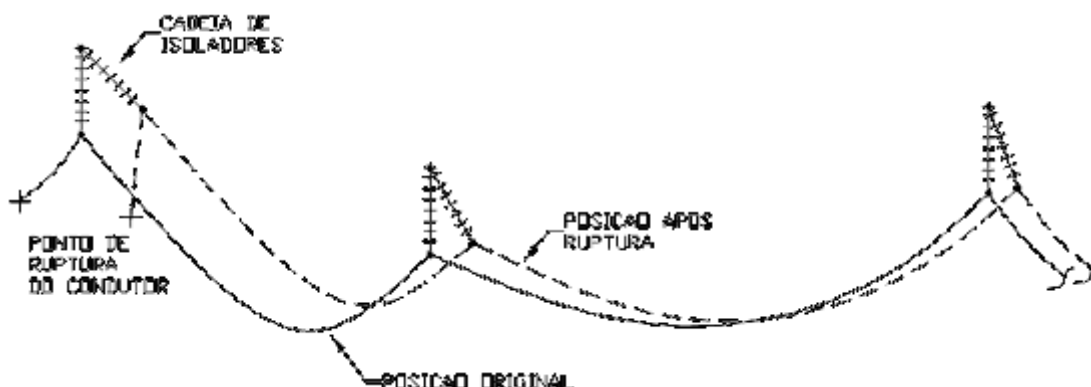


Figura 7.4: Ruptura de cabo e redistribuição de esforços longitudinais. (Fonte: CHAVES[8])

7.2.3 Forças transversais

Os esforços transversais normalmente são resultantes de uma LT que possui um suporte em ângulo, que trabalha na mudança de direção da linha. Nessa situação surge uma

componente transversal da força atuante no suporte. É importante explicitar que a estrutura aqui trabalhada foi considerada com um ângulo de 3° .

A Figura 7.5, ilustra de forma esquemática uma torre em planta e o sentido do trajeto da linha. Ainda nessa imagem é possível notar que entre o cabo condutor, “T0”, e a estrutura existe um ângulo, gerando assim, uma componente transversal de força.

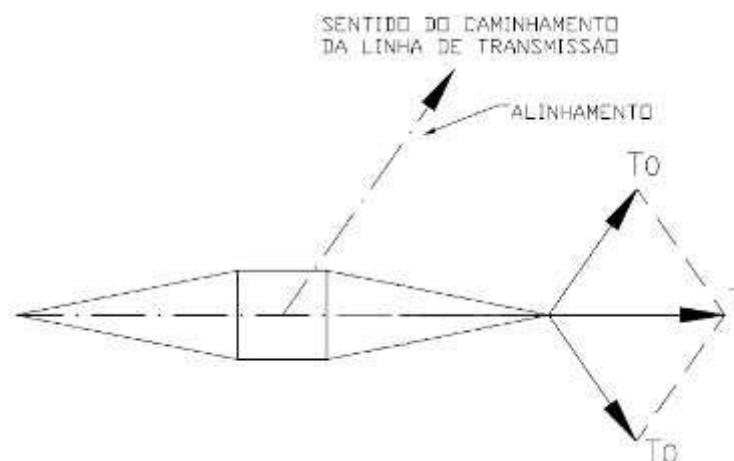


Figura 7.5: Componente transversal da ação dos cabos. (Adaptado de CHAVES[8])

7.3 Hipóteses de carregamento

As hipóteses de carregamento tentam reproduzir as possíveis situações críticas das ações atuantes nas torres. Normalmente essas ações são agrupadas em desenhos esquemáticos denominados “árvores de cargas”, e correspondem às várias hipóteses de carregamento da estrutura da torre.

Segundo a norma ABNT-NBR 5422:1985[4], no cálculo estrutural da torre de transmissão deverão ser consideradas nas hipóteses de cálculo algumas situações, tais como os tipos de solicitações mecânicas a que o suporte está sujeito:

- forças de vento: aquelas atuantes sobre os suportes, cadeia de isoladores e cabos devido à ação do vento;

- Cargas permanentes: aquelas que praticamente não variam durante a vida da linha, como por exemplo as devido ao peso dos cabos, das ferragens e da própria estrutura;
- Ações especiais: aquelas que ocorrem especificamente durante a construção e manutenção da linha. Considera-se também como especiais as forças para prevenção do fenômeno de cascata (queda sucessiva dos suportes), quando ocorre a falha de algum componente da linha (rompimento de cabos, por exemplo).

“Já nas torres de LT, tem-se um número muito grande de hipóteses de carregamentos. Essas “árvores” de carregamento têm algumas hipóteses básicas, que servem como referência para a montagem das cargas nas torres”. (CHAVES[8])

Essas ações de projeto devem ser combinadas convenientemente entre si, de modo a se obter um conjunto de hipóteses de cálculo para o dimensionamento da estrutura do suporte. Assim sendo, podem ser consideradas algumas hipóteses básicas de cálculo:

- Básica 1 – cabos intactos com atuação do vento extremo em qualquer direção; em geral, a verificação é feita apenas nas direções transversal, longitudinal e a 45°, 60° e 75°.
- Básica 2 – cabos intactos com atuação do vento de tormentas elétricas, também conhecido como vento de alta intensidade, em qualquer direção; em geral, a verificação é feita apenas nas direções transversal, longitudinal e a 45°, 60° e 75°.
- Básica 3 – ruptura do cabo para-raios ou do cabo condutor em qualquer posição de forma não simultânea em ambas situações. Essa condição gera um número de hipóteses igual ao número de cabos.
- Básica 4 – situações especiais, como montagem e manutenção e o efeito cascata.

É importante acrescentar que, por se tratar de uma torre de suspensão, não foi necessário considerar o efeito cascata na montagem das hipóteses de cálculo. Isso porque as estruturas mais suscetíveis a esse fenômeno são, por exemplo, as torres de fim de linha e de ancoragem, entre outras, que são dimensionadas para resisti-lo, evitando assim o colapso das demais torres ao longo da linha.

7.4 Dimensionamento estrutural

A análise estrutural da torre foi efetuada com base no modelo de cálculo 3D constituído por elementos de barra. Como opção adotada neste trabalho, a estrutura foi modelada com o auxílio do programa AutoCad exportado para o programa SAP2000[29].

O SAP2000[29], por sua vez, é um programa que pode realizar análise tridimensional de estruturas, que permite a utilização de análises lineares e não lineares. Devem ser destacadas as considerações:

- foi realizada uma análise tridimensional da estrutura, que utilizou elementos de pórtico espacial (com seis graus de liberdade por nó), com todas as ligações consideradas como rígidas (ver Figura 7.6);

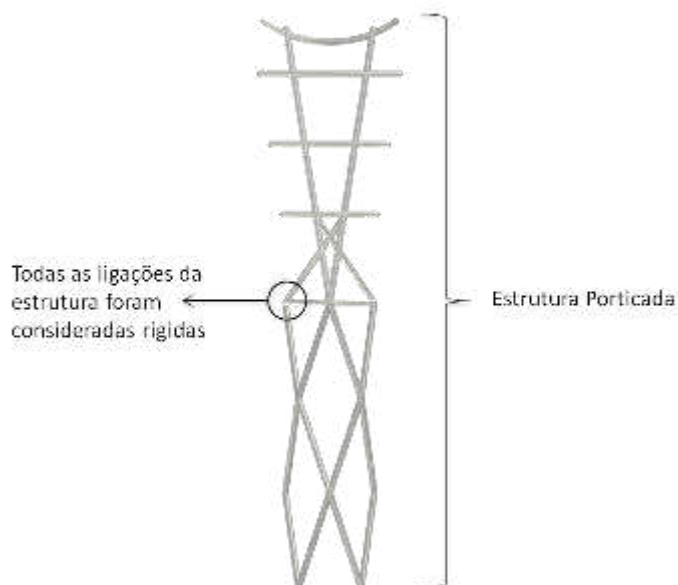


Figura 7.6: Caracterização do sistema estrutural da torre.

- efetuou-se uma análise geometricamente não linear em regime de pequenos deslocamentos, levando-se em consideração o efeito P-delta. Por se tratar de uma estrutura em que as forças horizontais superam as forças nocionais prescritas pela ABNT NBR 8800:2008[2], estas últimas não precisaram ser aplicadas;

O SAP 2000[29] pode gerar automaticamente as forças de vento com base em vários códigos internacionais. Nesse caso específico, as forças de vento foram calculadas de acordo com a IEC 60826[19], norma que não está entre as oferecidas pelo programa, sendo assim seus valores foram fornecidos manualmente (Apêndice B).

Outro ponto que deve ser ressaltado é a questão da norma que foi utilizada para dimensionamento da estrutura no SAP 2000[29]. A intenção deste trabalho era de utilizar a norma brasileira ABNT NBR 16239:2013[3] para o dimensionamento da torre, porém o acervo de normas do programa não contém, mas contempla a norma canadense CAN/CSA S16:2005[6]. A norma brasileira apresenta uma curva de flambagem específica para perfis tubulares laminados a quente ou tratados termicamente para alívio das tensões, igual à da presente na norma canadense, sendo esta última a pioneira. Por se tratar de normas com

parâmetros semelhantes, utilizou-se aqui para a verificação a norma canadense CAN/CSA S16:2005[6].

No processo de cálculo, após a importação da estrutura e da escolha da norma a ser considerada, as hipóteses de carregamento geradas anteriormente foram inseridas no programa. As hipóteses receberam uma nomenclatura diferente, sendo possível conhecê-las através do Apêndice C. Após a aplicação do vento na estrutura e a introdução dos demais carregamentos, foi possível dimensionar a torre.

7.4.1 Obtenção dos carregamentos

Foi gerado através do Software LION[21] um documento técnico que contém as informações necessárias para a elaboração da “árvore de cargas”, tornando possível o dimensionamento estrutural da torre.

Nesse documento encontram-se dados como: as trações dos cabos e as pressões de vento que serão utilizados para obter as forças atuantes na estrutura e nos pontos de fixação dos cabos. Por fim, a escolha de alguns elementos que compõe a linha foi feita de forma otimizada pelo programa, tais como os tipos de cabo condutor e para-raios.

Os dados fornecidos pelo programa encontram-se no Apêndice D deste trabalho. Essas informações serviram para montar a “árvore de cargas” para cada hipótese, sobre as quais constam mais informações no Apêndice E.

7.4.2 Resultado

Na análise foi considerado o efeito inicial de imperfeição do material, ou seja tornou-se o módulo de elasticidade E como igual a 160000 MPa para se levar em conta a presença de tensões residuais nos perfis, conforme a ABNT NBR 8800:2008[2]. Porém uma segunda análise foi feita considerando E igual a 200000 MPa e a estrutura praticamente não

apresentou diferenças nas respostas. Por essa razão, passou-se a efetuar o processamento com E igual a 200000 MPa.

A torre foi dimensionada utilizando perfil tubular circular fabricado pela Vallourec[33] com aço VMB 350. A estrutura utilizou perfis que variam do tubo circular TC 88,9 x 4,0 ao TC 273,0 x 6,4 atingindo um peso total de 58 kN. A Figura 7.7 contempla todas as seções dos perfis resultantes do dimensionamento da estrutura.

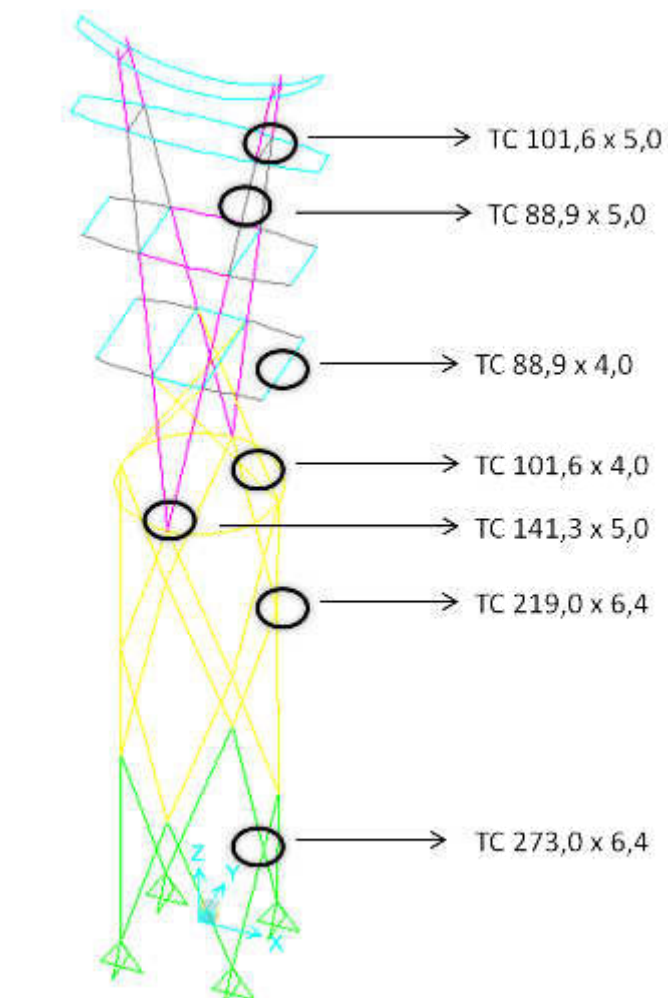


Figura 7.7: A torre e a indicação dos perfis utilizados após o dimensionamento.

Após a identificação dos perfis empregados, a Tabela 7.1 apresenta a quantidade necessária em metros para cada seção que compõe a estrutura.

Tabela 7.1: Seção dos perfis e os respectivos comprimentos para montagem da torre.

Seção do Perfil	Comprimento utilizado (m)
TC 88,9 x 4,0	45,1
TC 88,9 x 5,0	9,6
TC 101,6 x 4,0	19,5
TC 101,6 x 5,0	26,6
TC 114,3 x 5,0	2,5
TC 141,3 x 5,0	33,1
TC 219,1 x 6,0	83,6
TC 273,0 x 6,4	35,7

Por fim, chegou-se a um peso relativamente próximo das estruturas convencionais, que varia entre 30 e 50 kN. A partir do peso da nova estrutura, que é o de 58 kN, pode ser estimado o seu valor, que é de aproximadamente R\$ 90.000,00 (noventa mil reais), por torre, levando em consideração a fabricação e a montagem e incluindo o curvamento dos perfis.

Como um dos objetivos era apresentar uma solução que fosse esteticamente mais agradável que as convencionais e que tivesse um custo menor que a intervenção de uma LTS, que pode chegar à R\$ 5.000.000,00 (cinco milhões de reais), pode-se dizer que a nova estrutura mostrou-se economicamente viável.

“Não há saber mais ou saber menos: há saberes diferentes.” (Paulo Freire)

Capítulo 8

O CÁLCULO DA FAIXA DE PASSAGEM

8.1 Introdução

Um dos desafios deste trabalho era o de criar uma estrutura de torre de LTA mais integrada com o espaço urbano. Um dos requisitos para isso é que a torre possuísse dimensões mais compactas e que exigisse uma largura de faixa de passagem menor, dadas as restrições no espaço por ela causadas, a escassez e o elevado custo das áreas nos centros urbanos.

Após a definição da forma, dos parâmetros elétricos e também do cálculo estrutural da torre, para saber se haveria necessidade ou não de alguma adaptação em sua forma, torna-se possível fazer uma estimativa da dimensão da largura da faixa de passagem para as linhas a serem construídas utilizando a estrutura projetada.

8.2 Os parâmetros

A largura da faixa de passagem é definida a partir de alguns parâmetros que afetam a sua dimensão, entre os quais altura da torre, o comprimento da mísula, a disposição, o tipo e a flecha dos cabos condutores. Porém, existe também a ação dos efeitos eletromagnéticos que são gerados pela linha de transmissão e que devem ser considerados de forma conjunta, tais como os campos elétrico e magnético, o ruído audível e a rádio interferência. Esses efeitos devem estar de acordo com certos limites estabelecidos pela legislação, como explica SOUZA[32]:

“Os cabos condutores que constituem as linhas de transmissão (LT) de energia elétrica quando energizados provocam, no meio em que se encontram, efeitos eletromagnéticos, os quais são

destacados os campos elétrico e magnético, rádio interferência, ruído audível, entre outros. Sendo assim, a fim de se evitar riscos à segurança da linha, aos eventuais obstáculos existentes ao longo do seu caminhar ou até mesmo a exposição humana a esses efeitos, é necessário que essas linhas sejam instaladas dentro de uma área de terra, com uma largura definida, denominada faixa de passagem”.

Como exposto no Capítulo 2, constam na norma ABNT NBR 5422:1985[4] as diretrizes para se determinar a largura da faixa de passagem, a partir dos níveis de campo elétrico e magnético gerados pela linha. Sabe-se que a referida norma passa por revisão, assim sendo, de forma complementar à norma, a ANEEL[1] e o ONS[27] definem os limites máximos para os efeitos eletromagnéticos (campo elétrico, campo magnético, ruído audível e rádio interferência), aceitáveis na largura da faixa.

Para que seja possível o entendimento da análise que será feita no item a seguir, faz-se necessário uma breve explicação a respeito dos efeitos eletromagnéticos. Os campos elétrico e magnético no limite da faixa de passagem são dependentes da tensão, corrente e configuração das fases (horizontal, vertical ou triangular). O ruído audível é produzido em consequência do efeito corona (descargas elétricas no ar perto da superfície dos condutores energizados) e geralmente ocorre durante tempo chuvoso ou com o condutor molhado. Já a rádio interferência é provocada pelas perturbações de rádio frequência na recepção de um sinal devido aos campos eletromagnéticos gerados pelas linhas de transmissão.

8.3 O cálculo da faixa de passagem

Para determinação da largura da faixa de passagem teve-se o auxílio do programa computacional Matlab, versão 2007 e de uma rotina de cálculo desenvolvida por SOUZA[32] tendo por base equações da teoria eletromagnética e as ações do vento que proporcionam o balanço dos cabos condutores. A Figura 8.1 apresenta o fluxograma do programa, onde a análise se inicia a partir da definição dos dados do sistema em estudo

(tensão, corrente, altura da estrutura, etc.). De posse desses dados, calcula-se os campos elétrico e magnético, o ruído audível, a rádio interferência e o balanço dos cabos. Com os cálculos realizados e considerando-se cada limite definido pela legislação, chega-se às larguras de faixa de segurança para cada efeito eletromagnético e pelo balanço do cabo condutor. E, por último, define-se a largura de faixa de segurança necessária à LT, através da adoção da maior largura de faixa obtida isoladamente (SOUZA,2012).

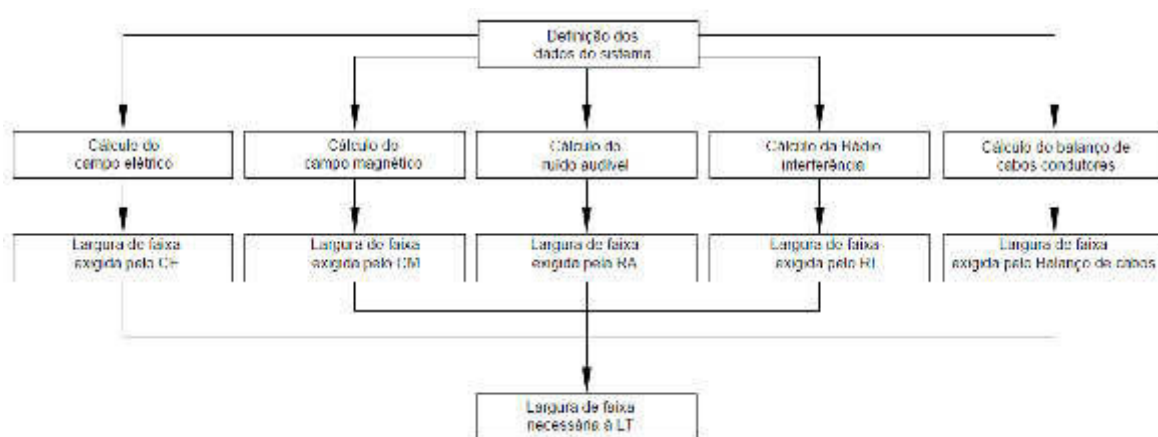


Figura 8.1: Fluxograma da determinação da largura de faixa de segurança. (Retirado de SOUZA[32])

A análise feita a seguir consiste no estudo da nova torre com as mesmas características que foram utilizadas anteriormente para o cálculo estrutural, tais como o tipo e disposição do cabo condutor, cabo para-raios e altura da torre. Como neste trabalho se deseja melhorar a relação entre a linha e o meio urbano, é importante saber quais parâmetros podem contribuir para a redução da largura da faixa de passagem, dos impactos ambientais e dos custos gerados pela faixa de passagem durante o processo de implantação das linhas.

O início da análise se dará a partir das características da estrutura informada na Figura 8.2. Como dados adicionais aos fornecidos na imagem, foi utilizado o condutor Pelican (MCM 477,0) com diâmetro de 20,68 milímetros, e flecha de 2,48 metros e um vão de 125 metros entre as torres, informações as quais também foram utilizadas para o cálculo estrutural da torre, como mencionado anteriormente.

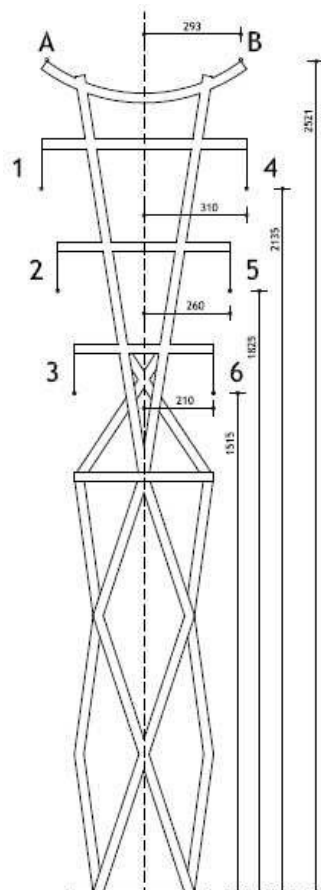


Figura 8.2: Estrutura composta por uma base com 3 módulos e uma altura total de 25,21m.

Para o cálculo do campo magnético foi utilizada uma corrente de 227 A, correspondente a uma potência SIL de 49 MW - valor este muito comum para uma LT de 138 kV. Foi utilizada para obter essa corrente um valor de fator de potência de 0,9. (SOUZA[32]).

As informações tomadas como base para a verificação dos resultados seguem as orientações presentes no submódulo 2.4 da ONS[27], que são apresentadas a seguir:

- Sobre a rádio interferência (interferência eletromagnética produzida pela LT energizada). A LT energizada em sua tensão de operação máxima deve apresentar uma relação sinal/ruído, a 1 metro de altura do solo, no limite da faixa de segurança, de no mínimo 24 dB, em 50% do período de 1 ano. Neste trabalho é considerado um sinal mínimo de 66 dB, correspondendo a um ruído máximo de 42 dB.

- O ruído audível no limite da faixa de segurança, quando a LT submetida à tensão máxima operativa, deve ser, no máximo, igual a 58 dBA.
- O campo magnético no limite da faixa de segurança deve ser inferior ou igual a 67 A/m (amperes por metro), equivalente à indução magnética de 83 μ T, na condição de operação em regime de sobrecarga de curta duração.
- O campo elétrico a um metro do solo no limite da faixa de segurança deve ser inferior ou igual a 4,2 kV/m, quando a LT estiver submetida à tensão máxima operativa.

A partir dessas informações, foi possível fazer uma comparação entre os valores limite estipulados com os resultados obtidos na Figura 8.3. Nota-se que, para todos os fatores analisados, nenhum ultrapassou os limites estabelecidos pelo ONS[27]. Ainda sobre os gráficos presentes na imagem, é visível que o resultado para os campos elétrico e magnético (CE e CM) e ruído audível (RA) estão muito abaixo dos valores limites, sendo que a rádio interferência (RI) apresentou um valor mais próximo do limite, mas não chegou a ultrapassá-lo.

Assim nenhum dos fatores analisados é limitador para a largura da faixa de passagem, não sendo necessária a criação de novas hipóteses para se obter valores ótimos. Portanto, do ponto de vista dos limites de campo elétrico, campo magnético, rádio interferência e ruído audível, o arranjo considerado não exige delimitação de uma faixa de passagem.

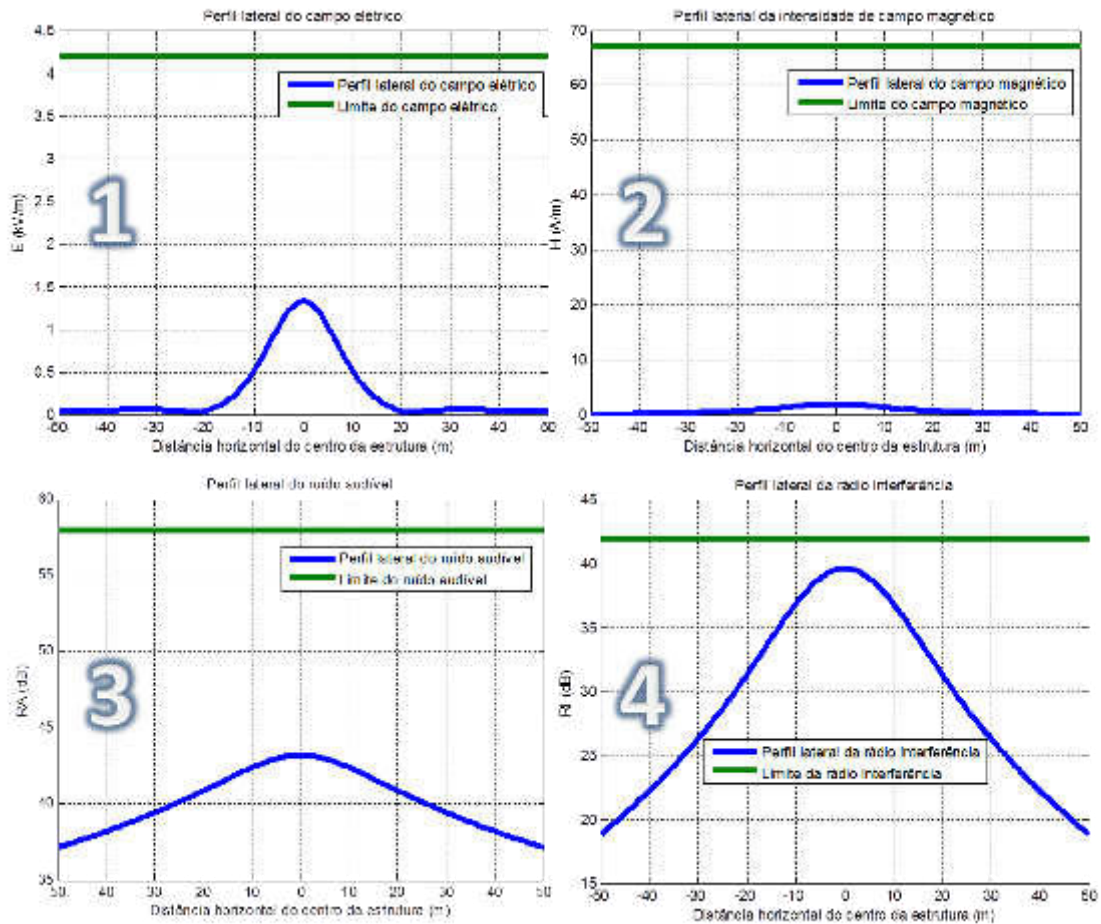


Figura 7.3: Níveis de intensidade dos diferentes fatores considerados na análise.

No entanto existe outro critério que deve ser considerado na análise, que é o balanço dos cabos como ilustrado na Figura 8.4. Para a estrutura de 138 kV aqui apresentada, com uma base constituída por três módulos e altura total de cerca de 25 metros, o balanço do cabo condutor é o fator mais determinante.

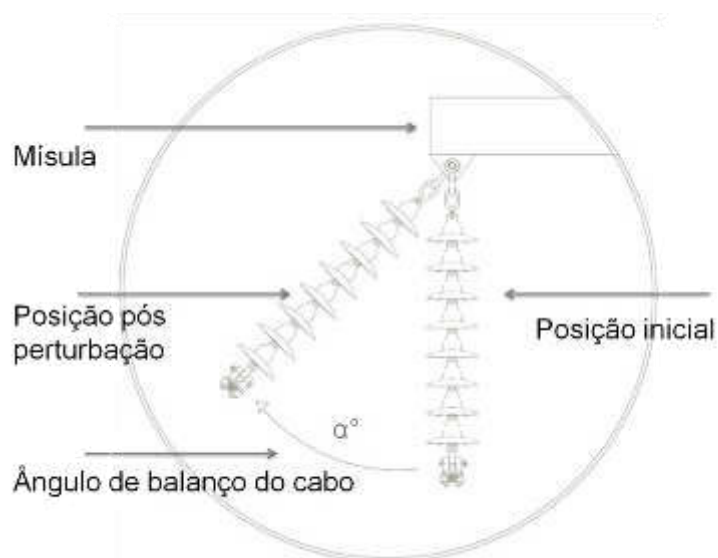


Figura 8.4: Esquema para mostrar o balanço do cabo em uma estrutura.

Após a análise da nova estrutura em relação ao balanço dos cabos, chegou-se a uma largura de faixa necessária para a linha de 12,09 metros (ver Figura 8.5). Tendo como base os valores de faixa calculados baseados na tensão de operação da linha, muitas concessionárias adotam uma largura de faixa de passagem de até 23 metros para áreas urbanas. Dessa forma, o valor encontrado é satisfatório e atende às expectativas deste trabalho.

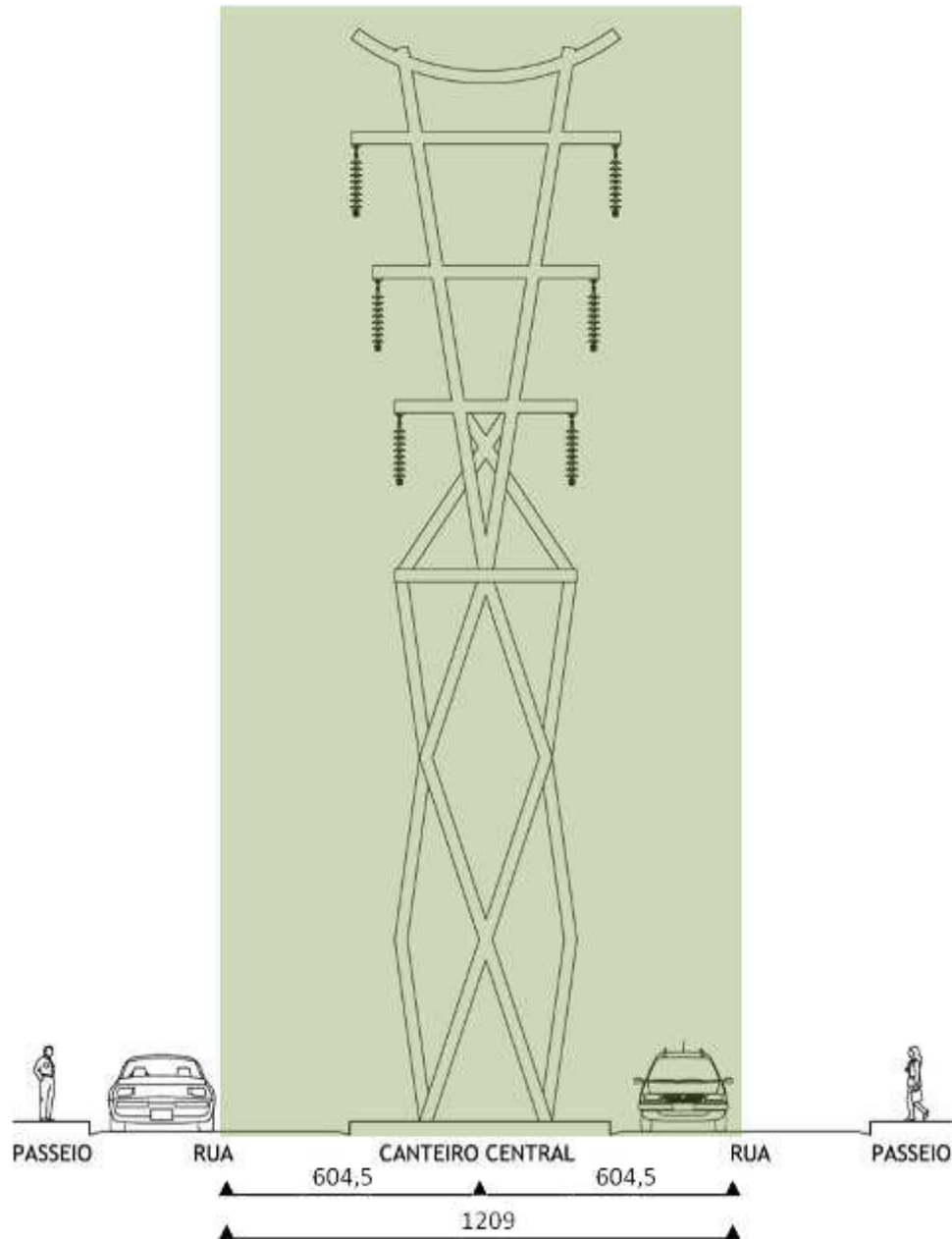


Figura 8.5: Faixa de passagem dimensionada para a nova torre de transmissão (Dimensões em centímetros).

A Figura 8.6 mostra, de forma, esquemática a vista superior com a aplicação do resultado da determinação da largura da faixa de passagem para a estrutura desenvolvida neste trabalho.

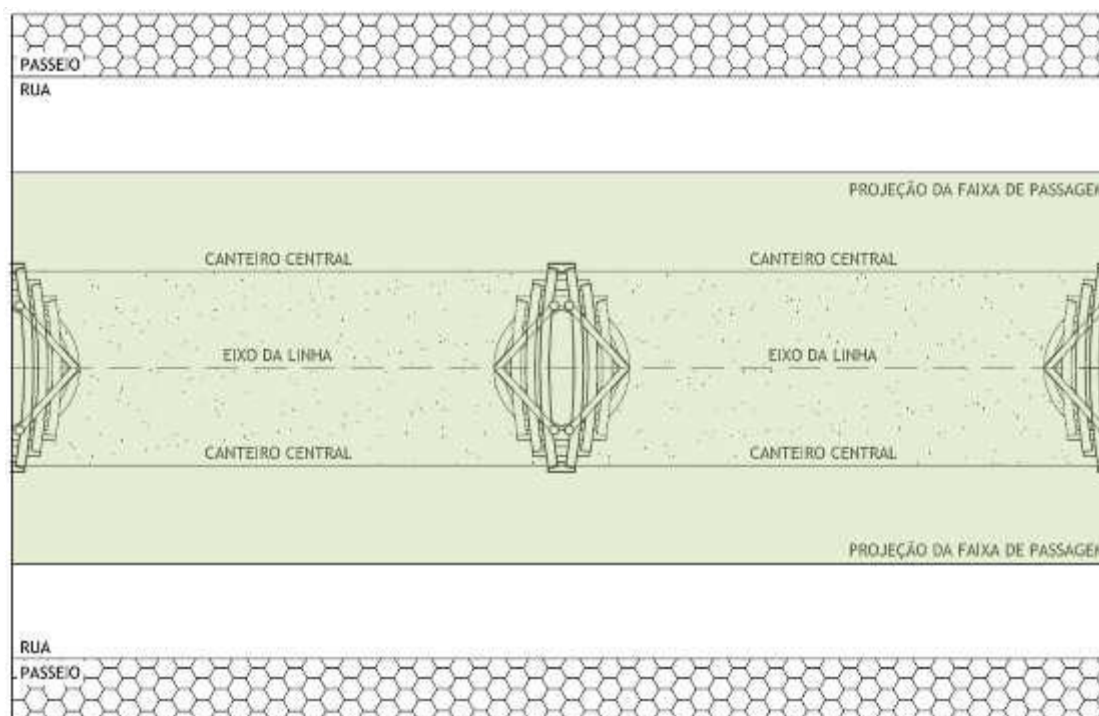


Figura 8.6: Largura da faixa de passagem para a nova estrutura.

8.3.1 Conclusão

Muitas concessionárias de energia baseiam a largura da faixa de passagem no nível de tensão da LT, sem levar também em consideração fenômenos como o RA e a RI, sendo este último um importante efeito limitador de faixa em algumas situações, como visto nas considerações anteriores. Desse modo, as faixas que são fundamentalmente baseadas na tensão de operação da LT podem estar sub ou super dimensionadas.

Por fim, esse estudo de faixa para o projeto aqui desenvolvido teve como objetivo mostrar que cada LT possui particularidades, independentemente de operar em uma mesma tensão, e que devem ser levadas em consideração. O estudo também gerou resultados satisfatórios quanto à dimensão da faixa estimada para a nova torre, que se situou dentro dos valores esperados. Isso significa que, em uma possível execução do projeto, os custos, tanto sociais quanto financeiros, relacionados à faixa de passagem não serão superiores aos gerados pela implantação das estruturas convencionais com a mesma tensão de operação, no caso a de 138 kV.

Capítulo 9

CONSIDERAÇÕES FINAIS

9.1 Introdução

O engajamento de muitos países pela busca de novas possibilidades e inovações para as torres de LTA objetivou este trabalho. A necessidade de o Brasil investir em pesquisas nesse setor foi percebida ao longo do trabalho, dada à relevância da geração e transmissão de energia elétrica proveniente de usinas hidrelétricas.

Melhorias em diversas áreas do processo de planejamento de empreendimentos grandiosos como uma linha de transmissão são imprescindíveis. As necessidades tanto das pessoas quanto do ambiente mudam com o tempo. A estrutura que antes se enquadrava em um dado cenário pode não ser a melhor solução para a atualidade, por exemplo, nos grandes centros urbanos extremamente adensados e, em muitos casos, desprovidos de espaços.

De modo geral a evolução do setor precisa ser acompanhada de soluções que busquem mais do que questões financeiras, mas também que pensem nos impactos que uma LTA pode causar tanto na paisagem urbana quanto no dia-a-dia da população.

9.2 Conclusão

Neste trabalho se propôs uma nova abordagem conceitual para as torres de LT urbanas brasileiras. Baseando-se nas formas geométricas da bandeira do país foi possível gerar um projeto inovador para as torres, especialmente desenvolvido para áreas urbanas. Fugindo da padronização do setor elétrico, aplicou-se um novo conceito e optou-se pela troca dos perfis abertos usuais por perfis tubulares circulares laminados.

“O design é uma outra coisa. Não existem soluções “corretas” e aqui vale destacar que a natureza única e subjetiva do designer é parte fundamental do resultado obtido, mas não somente isso: é parte fundamental também a escolha do caminho projetual, ou seja, do processo por meio do qual o resultado é alcançado”. DE MORAES[10]

O design resultante, por sua vez, provou que novos caminhos e novas possibilidades podem ser criados. O objeto pode ser mais que um equipamento de infraestrutura imposto ao ambiente, ele pode ir mais além e transmitir ideias, significados e estabelecer relações com o entorno e com a população. O design, aqui, foi aplicado à serviço da sociedade, foi uma ferramenta que deu suporte ao desenvolvimento de uma nova torre urbana, impregnada de potencial estético, além de sua função utilitária.

Procurou-se no desenvolvimento do projeto criar um novo olhar sobre as torres de transmissão e os impactos causados por elas sobre a paisagem urbana. Junto com essa preocupação, surgiram os desafios encontrados tanto nas linhas existentes, com o processo de expansão, e a criação de novas linhas. O desafio abordado neste trabalho voltou-se para a disputa de espaço entre a população e as linhas, que em muitos casos, como visto, está ligado à falta de planejamento urbano. O adensamento populacional não acompanhado de infraestrutura adequada é um dos principais causadores dessa situação.

A complexidade dos ambientes urbanos é enorme, o que tornaria impossível a apenas um único setor identificar ou propor soluções aos diferentes problemas que ocorrem nesse ambiente. Assim sendo, a nova estrutura foi gerada como mais uma contribuição à sociedade. Porém, obviamente, ela não é um objeto que de modo isolado possa mudar a realidade social do Brasil, mas de forma conjunta com outros setores e áreas do desenvolvimento pode auxiliar na melhoria da qualidade dos espaços da cidade.

Quando chegou-se à forma final, foi feito o dimensionamento estrutura, para que fosse possível estimar o preço da estrutura e a largura da faixa de passagem. Ambos os resultados foram satisfatórios, uma vez que, ao propor uma nova estrutura desvinculada dos padrões convencionais, era esperado um custo um pouco mais elevado. Porém, esse custo foi trabalhado para que não inviabilizasse o projeto.

O custo estimado da nova torre foi o de R\$ 90.000,00 (noventa mil reais), valor que justificou a criação da estrutura diferenciada para substituir sempre que possível as linhas de transmissão subterrâneas, que possuem um custo extremamente elevado. Além do custo, foi trabalhada também a faixa de passagem, onde tentou-se chegar a uma largura similar às aplicadas a torres compactas. A faixa de passagem ficou com 12,09 metros, possibilitando assim a redução das áreas destinadas à LTA, fator de extrema importância, dada à escassez de espaço adequado para a implantação desse tipo de linha nas cidades.

Este trabalho apresentou um novo design para torre de transmissão, que teve a intenção de criar um novo olhar sobre a área de transmissão de energia elétrica no Brasil. A importação de tecnologia é inevitável, porém nem sempre é a mais adequada à nossa realidade. Por isso, é importante compreender as necessidades, entender os problemas e propor soluções específicas e direcionadas ao nosso contexto.

9.3 Proposta de Continuidade

Durante o desenvolvimento do projeto, foi observado uma carência de estudos brasileiros voltados para áreas que envolvem propostas que visam a criação de novas opções de torre de transmissão de energia, com ideias que objetivem não só a otimização da parte elétrica da estrutura, mas também a diferenciação entre o design das torres que são inseridas em áreas urbanas em relação as torres rurais.

Por fim, uma das possíveis propostas de continuidade deste trabalho pode destinar-se a uma nova abordagem conceitual, tanto em relação ao design da forma quanto ao tipo de material utilizado. Novos formatos podem ser criados e a qualidade do projeto pode ser ainda melhorada através da aplicação de diferentes itens, como: cadeia de isoladores

poliméricos e cabos condutores especiais. Trata-se assim de abranger os estudos que visem uma melhor relação da estrutura com o meio ao qual elas se inserem, levando em consideração as necessidades específicas de cada espaço.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANEEL – “Resolução Normativa da ANEEL nº270 – 2007: Estabelece as disposições relativas à qualidade do serviço público de transmissão de energia elétrica, associada à disponibilidade das instalações integrantes da Rede Básica, e dá outras providências”.
2. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), **NBR 8800 – Projeto de Estruturas de Aço e de Estruturas Mistas de Aço e Concreto de Edifícios**. Rio de Janeiro, 2008.
3. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), **NBR 16239 – Projeto de Estruturas de Aço e de Estruturas Mistas de Aço e Concreto de Edificações com Perfis Tubulares**. Rio de Janeiro, 2013.
4. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), **NBR 5422 – Projeto de Linhas Aéreas de Transmissão de Energia**. Rio de Janeiro, 1985.
5. BEZERRA, F. V. C. “**Projeto Eletromecânico de Linhas Aéreas de Transmissão de Extra Alta Tensão**”. Dissertação de Mestrado, UFRJ, 2010. 89p.
6. Canadian Standards Association (CAN). CSA – S16: “Limit States Design of Steel Structures”. 2005.
7. CELG – Companhia Energética de Goiás. “Manual de Gestão Ambiental em Linhas de Transmissão, Distribuição e Subestações”. CELGD-F002-01. 2008. 23p.
- “Especificação técnica para limitação do uso de faixa de linhas de subtransmissão e transmissão da CELG PAR – 69 kV, 138 kV e 230 kV”. CELGD-F001-00. 2010. 26p.
8. CHAVES, R. A. “Fundações de Torres de Linhas de Transmissão e de Telecomunicação”. Dissertação de Mestrado, UFMG, Belo Horizonte. 2004. (pp. 01-46)
9. CIGRE. SCB2.08: “Innovative Solutions for Overhead Line Supports”. Working Group WG-08. 2007. 86p.
10. DE MORAES, Dijon. “**Metaprojeto: o design do design / Dijon De Moraes; prefácios Ezio Manzini e Flaviano Celaschi**”. São Paulo: Blucher, 2010.
11. DRANKA Jr., Ivo Marcos. “Linhas de transmissão compactas urbanas: a adequação de uma evolução tecnológica a parâmetros de licenciamento ambiental existentes”. Dissertação de Mestrado, Curitiba, 2009. (pp. 01-10, 18-30, 100-103)
12. ECKARDT, Wolf Von. “**A crise das cidades. Um lugar para viver**”. Rio de Janeiro, Zahar Editores, 1975. (pp. 36-43, 51-61, 67-81).
13. ELEKTRO, Eletricidade e Serviços S.A. “Ocupação de Faixa de Passagem de Linhas de Transmissão de Energia Elétrica”. Norma ND.67. Campinas, São Paulo. 2013. 32p.

14. FLASH: Software Produced by IEEE Working Group on Estimating Lightning Performance of transmission Lines. Version 1.81 July 2001.
15. FLUSSER, Vilém. “O mundo codificado: por uma filosofia do design e da comunicação”. Textos organizados por: Rafael Cardoso. 2007. (pp. 180-186)
16. FURTADO, J. R., ZANELLA, A. V. “**Artes visuais na cidade: relação estética e constituição dos sujeitos**”. Psicologia em Revista, Belo Horizonte, v.13, No 2, p. 309-324, 2007.
17. GONTIJO, C. R. “**Cálculo de torres para linhas de transmissão**”. Belo Horizonte, IEA Editora, 1994. 132p.
18. HOLANDA, Frederico de. “10 mandamentos da ARQUITETURA”. Brasília: Prol Editora Gráfica Ltda, 2013. (pp. 27, 45, 58-64, 71, 72, 81, 92-101).
19. International Electrotechnical Commission (IEC), **60826 – Design Criteria of Overhead Transmission Lines**. International Standard. Suíça. 2003.
20. JACOBS, Jane. “Morte e vida de grandes cidades”. Resenha do livro feita por: Erminia Maricato – “Morte e vida do urbanismo moderno”. São Paulo. 2001.
21. LION: Line Optimization Software. Desenvolvimento de Software para Otimização de Topologias de Torres de Transmissão Suportando Múltiplos Circuitos. DE VASCONCELOS, João Antônio. *et al.*– FAPEMIG: APQ-03432-11 – ANEEL: PD-4950-0528/2012 – CEMIG: D528
22. MADURO-ABREU, Alexandre. *et al.* “Prospecção e Hierarquização de Inovações Tecnológicas Aplicadas a Linhas de Transmissão”. Brasília: Teixeira Gráfica e Editora, 2010.
23. MOREIRA, R. O. C. “Avaliação teórico-experimental de campos magnéticos nas proximidades das linhas de transmissão subterrâneas”. Dissertação de Mestrado, UFMG. 2011. (pp. 2, 47-50)
24. NOGUEIRA, J. F. S. “**Etnodesign e cultura brasileira: Memória, resgate e identidade**”. 8p.
25. NORMAN, Donald. “**O design do dia a dia**”. Tradução: Ana Deiró. Rio de Janeiro: Rocco, 2006. (p.174)
26. OLIVEIRA, R. F. “**Linhas de transmissão**”. Trabalho de graduação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2009.
27. ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico; “Mapas do SIN”; Disponível em: <http://www.ons.org.br/conheca_sistema/mapas_sin.aspx> Acesso em: 15 fev. 2015.
- Submódulo 2.4. “**Requisitos mínimos para linhas de transmissão aéreas**”. 2009. 12p.
28. PBH – Prefeitura de Belo Horizonte. “PBH remove famílias que moram sob linhas de transmissão de energia”. Disponível em:

- <<http://portalpbh.pbh.gov.br/pbh/ecp/noticia.do?evento=portlet&pAc=not&idConteudo=41013&pIdPlc=&app=salanoticias>> Acesso em: 23 fev. 2015.
29. SAP 2000: Integrated Software for Structural Analysis and Design. Product from CSI America. Version 16.0.
 30. SECCIONAL. “**Torres monotubulares para transmissão**”. Informativo Técnico, Curitiba, v.18, p. 8, 2º sem. | 2011.
 31. SILVA, A. P. “**Melhoria de Desempenho de Linhas de Transmissão Frente a Descargas Atmosféricas: Desenvolvimento de Sistema de Informações e Análise de Casos**”. Dissertação de Mestrado, UFMG, 2007. (pp. 05-16, 50-56).
 32. SOUZA, C. J. “Determinação da largura de faixa de segurança de linhas de transmissão: um estudo paramétrico”. Dissertação de Mestrado, UFMG. 2012.
 33. VALLOUREC, Tubos do Brasil. “**Catálogo de tubos estruturais**”. 56p.
 34. VASCONCELLOS, Sylvio de. “**Textos reunidos: Arquitetura, Arte e Cidade**” – Organização: Celina Borges Lemos. Belo Horizonte, editora BDMG Cultural, 2004. (pp. 211-218, 231-235, 343-350).

Apêndice **A****Análise de desempenho no Flash****1 Introdução**

Neste apêndice constam alguns estudos que foram feitos para se definir a melhor posição e quantidade de cabo para-raios a ser instalado na nova estrutura. Para essa análise criou-se três hipóteses que abordaram diferentes possibilidades.

A confiabilidade do sistema é uma questão essencial para projetos de LT de energia elétrica. Desse modo, foi necessário fazer mais de uma análise para assegurar que a posição escolhida para o cabo para-raios apresentou melhor desempenho face às descargas atmosféricas. No Capítulo 6 foi exposto o resultado com a melhor solução. Porém, até se chegar à essa solução, duas outras hipóteses foram estudadas (Figura A.1), as quais serão abordadas nesta parte do trabalho.

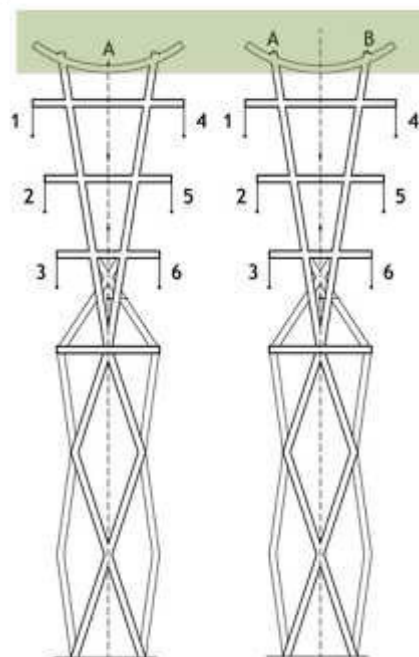


Figura A.1: Hipóteses de arranjo 01 e 02.

2 Análise com diferentes parâmetros

Após apresentadas as hipóteses para localização do cabo para-raios, a seguir tem-se a análise feita no programa FLASH[14] para cada uma delas.

A primeira hipótese contemplou a utilização de apenas um cabo para-raios localizado no centro do perfil superior da cabeça da torre, como pode ser visto na Figura A.1, primeira estrutura. No FLASH[14] essa informação pode ser notada no campo indicado pela seta (ver Figura A.2), onde só constam as coordenadas de apenas um cabo.

Index	X [m]	Y [m]
1	0	24.24
2		

Index	Conductor	Shield Wire	Required	Actual
1	1	1	-4.14	53.70
2	3	1	6.06	13.91
3	5	1	0.88	25.80
4	4	1	-4.14	53.70

Percentage (%)	Ohms
100	

Flashover Rates	Backflash	Shielding Failure	Total
	7.21 /100 km/yr	6.25 /100 km/yr	13.46 /100 km/yr

Figura A.2: Resultado para a Hipótese 01.

Ainda na planilha da Figura A.2, encontram-se dois resultados:

- O primeiro, indicado pelo quadro de número 1 na imagem, refere-se ao ângulo de blindagem do cabo para-raios sobre o cabo-fase. Algumas combinações entre esses cabos foram feitas e obteve-se diferentes resultados. Para alguns condutores a posição do cabo-guarda conseguiu a blindagem efetiva sobre o condutor, situação que correu entre a relação do cabo para-raios “1” e o condutor de posição “3”. Encontrou-se também alguns condutores expostos, como é o caso do condutor localizado na posição “4” em relação ao cabo-guarda “1”, onde o condutor exigia um ângulo negativo e o ângulo atual é positivo.

- O segundo resultado, indicado pelo quadro de número 2 na imagem, refere-se ao desempenho elétrico da linha analisada. Como informado anteriormente, o objetivo era minimizar os valores de falha por blindagem, e com esse arranjo chegou-se ao valor de 6,25 desligamentos/100 km/ano. Esse resultado é alto, se for considerado que representa mais de 60% dos desligamentos da linha. Dessa forma, essa hipótese não é uma boa alternativa para a estrutura, uma vez que fez com que a falha de blindagem influenciasse de modo considerável no desempenho dessa LT.

Já a segunda hipótese sugeriu a utilização de dois cabos para-raios localizados em pontos intermediários do perfil superior da cabeça da torre, como pode ser visto na Figura B.1, segunda estrutura. No FLASH[14] essa informação pode ser notada no campo indicado pela seta (ver Figura A.3), onde constam as coordenadas dos dois cabos.

Index	X [m]	Y [m]	SI [m]	kV	Angle	ACDC?
1	-3.1	21.35	1.2	138	0	ac
2	-2.6	18.25	1.2	138	-120	ac
3	-2.1	15.15	1.2	138	-120	ac
4	-3.1	21.35	1.2	138	120	ac
5	2.6	18.25	1.2	138	-120	ac
6	2.1	15.15	1.2	138	0	ac

Index	Conductor	Shield Wire	Required	Actual
1	1	1	-4.87	22.55
2	3	1	5.37	1.08
3	5	2	0.17	6.46
4	4	2	-4.87	22.55

Percentage (%)	Ohms	Backflash	Shielding Failure	Total
100	1.3	4.79	0.12	4.91

Figura A.3: Resultado para a Hipótese 02.

Ainda na planilha da Figura A.3, encontram-se dois resultados:

- O primeiro, indicado pelo quadro de número 1 na imagem, refere-se ao ângulo de blindagem do cabo para-raios sobre o cabo-fase. Para alguns condutores a posição do cabo-guarda conseguiu a blindagem efetiva sobre o condutor, situação que correu entre a relação do cabo para-raios “5” e o condutor de posição “2”. Encontrou-se também alguns condutores expostos, como é o caso do condutor

localizado na posição “4” em relação ao cabo-guarda “2”, onde o condutor exigia um ângulo negativo e o ângulo atual é positivo.

- O segundo resultado, indicado pelo quadro de número 2 na imagem, refere-se ao desempenho elétrico da linha analisada. Como este arranjo chegou-se ao valor de 0,12 desligamentos/100 km/ano. Esse resultado pode ser considerado satisfatório em relação ao obtido na primeira hipótese. Dessa forma, essa hipótese pode ser uma boa opção para a estrutura, uma vez que, fez com que a falha de blindagem não influenciasse de forma significativa o desempenho dessa LT.

A terceira hipótese foi feita com a finalidade de tentar zerar esses desligamentos por falha de blindagem. Esse objetivo foi alcançado, por isso, esse arranjo foi o escolhido para a nova torre e explicitado no Capítulo 6.

Ao final dessa análise, os resultados mostraram que, para o arranjo dos cabos condutores gerado pela silhueta da torre, o ideal seria a aplicação de dois cabos para-raios ao invés de um só. Tanto a segunda, como a terceira hipóteses apresentaram um bom índice de desempenho da linha face a falha de blindagem, fazendo com que ambas pudessem ser aplicadas de forma satisfatória na estrutura.

Apêndice B**FORÇAS DE VENTO NO SUPORTE**

1 Introdução

Neste apêndice foram fornecidos os parâmetros referentes ao vento aplicados na estrutura. A determinação das forças devidas à ação do vento na estrutura foi feita conforme especificações da norma brasileira ABNT NRR 5422:1985[4] e do IEC 60826[19].

Atualmente, as hipóteses de carregamento trazem dois tipos de abordagem de vento: o vento extremo e o vento de tormentas elétricas, também conhecido como vento de alta intensidade. Por serem duas situações distintas, mostra-se agora os valores aplicados na estrutura de acordo com cada tipo de vento.

2 Ação do vento no suporte

Para a determinação da ação do vento em um suporte, foi feita a decomposição da estrutura em painéis de comprimento inferior a 10 metros. A torre foi dividida em três painéis, estruturados da seguinte forma: o primeiro de 0 à 8,40 m, o segundo de 8,40 à 16,5 m e o terceiro de 16,5 à 25,21 metros de altura (ver Figura B.1).

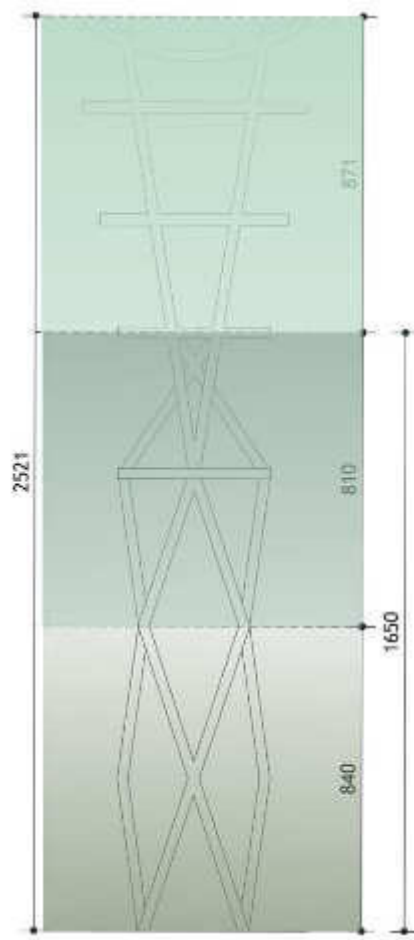


Figura B.1: Divisão dos painéis da estrutura.

Após a divisão feita na estrutura seguem os parâmetros aplicados e os respectivos resultados para a ação do vento na estrutura de acordo com o tipo de vento aplicado.

Dados de entrada – Vento extremo

- Velocidade básica do vento para 10min, 50 anos, 10 m de altura – 27,78 m/s
- Categoria de rugosidade do terreno – B (1,0)
- Fator de ajuste de rajada (G_r^2 à 10 metros) para 3s – 1,39
- Velocidade do vento ajustada para 3s, 50 anos, 10 m de altura – 38,65 m/s
- Ajuste do período de retorno, 150 anos – 30,93 m/s (velocidade de referência)
- Massa específica do ar – 1,225 kg/m³

A Tabela B.1 apresenta os valores da ação do vento nos painéis do suporte de acordo com o ângulo de incidência.

Tabela B.1: Força total “F” em cada painel – Vento extremo.

θ GRAUS	$F_{0 \text{ à } 10\text{m}}$ [kN]	$F_{10 \text{ à } 20\text{m}}$ [kN]	$F_{20 \text{ à } 30\text{m}}$ [kN]
0°	14,1	12,8	12,0
45°	15,6	14,2	11,0
60°	14,7	13,5	9,1
75°	14,2	13,1	7,9
90°	14,1	13,1	7,6

Dados de entrada – Vento de tempestades elétricas

- Velocidade básica do vento para 10min, 50 anos, 10 m de altura – 38,65 m/s
- Fator de ajuste de rajada (G_r^2 à 10 metros) para 3s – 1,20
- Velocidade do vento ajustada para 3s, 50 anos, 10 m de altura – 46,38 m/s
- Ajuste do período de retorno, 150 anos – 51,65 m/s (velocidade de referência)

A Tabela B.2, apresenta os valores da ação do vento nos painéis do suporte de acordo com o ângulo de incidência.

Tabela B.2: Força total “F” em cada painel – Vento de tempestades elétricas.

θ GRAUS	$F_{0 \text{ à } 10\text{m}}$ [kN]	$F_{10 \text{ à } 20\text{m}}$ [kN]	$F_{20 \text{ à } 30\text{m}}$ [kN]
0°	22,0	18,0	15,4
45°	24,2	19,9	14,1
60°	22,8	18,9	11,8
75°	22,1	18,3	10,2
90°	22,0	18,3	9,8

MONTAGEM DAS HIPÓTESES NO SAP 2000

1 Introdução

Neste apêndice o objetivo foi apresentar algumas das informações inseridas no SAP 2000[29] para o processo de dimensionamento da estrutura. De forma sucinta, dados como a nomenclatura adotada para as hipóteses de carregamento e as respectivas combinações geradas encontram-se a seguir.

Essas informações servem para se ter conhecimento sobre as hipóteses de carregamento que foram utilizadas neste trabalho, além de mostrar os itens que formaram as combinações.

2 Nomenclatura adotada para cada hipótese de carregamento

Força de vento:

Vento Extremo

Vento Extremo Transversal (90°): **VET(90)**

Vento Extremo (75°): **VE(75)**

Vento Extremo (60°): **VE(60)**

Vento Extremo (45°): **VE(45)**

Vento Extremo Longitudinal (0°): **VEL(0)**

Vento Tormentas Elétricas

Vento Tormentas Elétricas Transversal (90°): **VTET(90)**

Vento Tormentas Elétricas (75°): **VTE(75)**

Vento Tormentas Elétricas (60°): **VTE(60)**

Vento Tormentas Elétricas (45°): **VTE (45)**

Vento Tormentas Elétricas Longitudinal (0°): **VTEL(0)**

Carregamento mecânico:**Vento Extremo**

Vento Extremo Transversal (90°): **CM-VET(90)**

Vento Extremo (75°): **CM-VE(75)**

Vento Extremo (60°): **CM-VE(60)**

Vento Extremo (45°): **CM-VE(45)**

Vento Extremo Longitudinal (0°): **CM-VEL(0)**

Vento Tormentas Elétricas

Vento Tormentas Elétricas Transversal (90°): **CM-VTET(90)**

Vento Tormentas Elétricas (75°): **CM-VTE(75)**

Vento Tormentas Elétricas (60°): **CM-VTE(60)**

Vento Tormentas Elétricas (45°): **CM-VTE (45)**

Vento Tormentas Elétricas Longitudinal (0°): **CM-VTEL(0)**

Ruptura de cabo condutor:

Ruptura cabo condutor superior direito: **RCCSD**

Ruptura cabo condutor intermediário direito: **RCCMD**

Ruptura cabo condutor inferior direito: **RCCID**

Ruptura cabo condutor superior esquerdo: **RCCSE**

Ruptura cabo condutor intermediário esquerdo: **RCCME**

Ruptura cabo condutor inferior esquerdo: **RCCIE**

Ruptura de cabo-guarda:

Ruptura cabo-guarda direito: **RCGD**

Ruptura cabo-guarda esquerdo: **RCGE**

Montagem:

As hipóteses nesse caso, em específico, levam em consideração duas possibilidades de rotina pré-estabelecidas para o procedimento de montagem.

Rotina I:

Montagem do cabo-guarda esquerdo: **MCGE**

Montagem do cabo-guarda direito: **MCGD**

Montagem do cabo condutor superior esquerdo: **MCCSE**

Montagem do cabo condutor superior direito: **MCCSD**

Montagem do cabo condutor intermediário esquerdo: **MCCME**

Montagem do cabo condutor intermediário direito: **MCCMD**

Montagem do cabo condutor inferior esquerdo: **MCCIE**

Montagem do cabo condutor inferior direito: **MCCID**

Rotina II:

Montagem do cabo-guarda esquerdo: **MCGE**

Montagem do cabo condutor superior esquerdo: **MCCSE**

Montagem do cabo condutor intermediário esquerdo: **MCCME**

Montagem do cabo condutor inferior esquerdo: **MCCIE**

Montagem do cabo-guarda direito: **MCGD**

Montagem do cabo condutor superior direito: **MCCSD**

Montagem do cabo condutor intermediário direito: **MCCMD**

Montagem do cabo condutor inferior esquerdo: **MCCME**

Montagem do cabo condutor inferior direito: **MCCID**

3 Combinações geradas para cada hipótese de carregamento

COMB01: VET(90) + CM-VET(90) + PP

COMB02: VE(75) + CM-VE(75) + PP

COMB03: VE(60) + CM-VE(60) + PP

COMB04: VE(45) + CM-VE(45) + PP

COMB05: VEL(0) + CM-VEL(0) + PP

COMB06: VTET(90) + CM-VTET(90) + PP

COMB07: VTE(75) + CM-VTE(75) + PP

COMB08: VTE(60) + CM-VTE(60) + PP

COMB09: VTE (45) + CM-VTE (45) + PP

COMB10: VTEL(0) + CM-VTEL(0) + PP

COMB11: RCCSD + PP

COMB12: RCCMD + PP

COMB13: RCCID + PP

COMB14: RCCSE + PP

COMB15: RCCME + PP

COMB16: RCCIE + PP

COMB17: RCGD + PP

COMB18: RCGE + PP

COMB19: MCGE + PP

COMB20: MCGE + MCGD + PP

COMB21: MCGE + MCGD + MCCSE + PP

COMB22: MCGE + MCGD + MCCSE + MCCSD + PP

COMB23: MCGE + MCGD + MCCSE + MCCSD + MCCME + PP

COMB24: MCGE + MCGD + MCCSE + MCCSD + MCCME + MCCMD + PP

**COMB25: MCGE + MCGD + MCCSE + MCCSD + MCCME + MCCMD + MCCIE
+ PP**

**COMB26: MCGE + MCGD + MCCSE + MCCSD + MCCME + MCCMD + MCCIE
+ MCCID + PP**

COMB27: MCGE + MCCSE + PP

COMB28: MCGE + MCCSE + MCCME + PP

COMB29: MCGE + MCCSE + MCCME + MCCIE + PP

COMB30: MCGE + MCCSE + MCCME + MCCIE + MCGD + PP

COMB31: MCGE + MCCSE + MCCME + MCCIE + MCGD + MCCSD + PP

Apêndice **D****ESPECIFICAÇÕES DA LT****1 Introdução**

Neste apêndice constam algumas características específicas da LTA analisada neste trabalho e são fornecidas informações que foram geradas pelo programa LION[21] e serviram para o cálculo dos carregamentos e montagem das hipóteses de carregamento.

2 Informações base para o cálculo dos carregamentos

Estrutura de suspensão

- Altura: 25,21 metros
- Base: 2,80 x 2,80 metros
- Vão de peso: 125 metros
- Vão de vento: 125 metros
- Ângulo da Estrutura: 3°

Cabo condutor e cabo-guarda

- Pelican: $\left\{ \begin{array}{l} \text{Um cabo por fase} \\ \text{Peso: 0,7709 kgf/m} \\ \text{Diâmetro: 20,68 mm} \end{array} \right.$
- OPGW DUAL – DS1.049.124.S36: $\left\{ \begin{array}{l} \text{Um cabo por fase} \\ \text{Peso: 0,4900 kgf/m} \\ \text{Diâmetro: 12,40 mm} \end{array} \right.$

Isoladores

- Uma cadeia com 8 isoladores de vidro
- Peso: 60 kgf

- Área Transversal: 0,40 m²

A Tabela D.1 fornece os valores das trações nos cabos por hipótese (kgf):

Tabela D.1: Trações nos cabos por hipóteses.

HIPÓTESE	CABO CONDUTOR	CABO-GUARDA
Vento Extremo Transversal (90°)	1376,2	1540,6
Vento Extremo (75°)	1359,3	1534,6
Vento Extremo (60°)	1310,5	1517,8
Vento Extremo (45°)	1236,4	1493,7
Vento Extremo Longitudinal (0°)	1045,6	1440,8
Vento Tormentas Elétricas Transversal (90°)	1599,5	1627,7
Vento Tormentas Elétricas (75°)	1574,4	1617,3
Vento Tormentas Elétricas (60°)	1500,9	1587,6
Vento Tormentas Elétricas (45°)	1385,3	1543,9
Vento Tormentas Elétricas Longitudinal (0°)	1045,6	1440,8
Ruptura de Cabo Condutor	1045,6	1440,8
Ruptura de Cabo-Guarda	1045,6	1440,8
Montagem	1236,8	1586,1

A Tabela D.2, apresenta os valores da pressão de vento nos cabos (kgf/m²):

Tabela D.2: Pressão de vento nos cabos.

Posição e tipo de cabo utilizado	Pressão de Vento Extremo (VE)	Pressão de Vento de Alta Intensidade (AI)
Cabo condutor 1	121,05	165,31*

Cabo condutor 2	115,98	165,31*
Cabo condutor 3	109,46	165,31*
Cabo-Guarda	136,92	165,31*

*Os valores referentes a pressão de vento de alta intensidade nos cabos não sofrem alteração, isso se dá pelo fato que a estes não se aplicam fatores corretivos relacionados à altura, uma vez que a pressão é constante ao longo de toda a estrutura.

HIPÓTESES DE CARREGAMENTO

1 Introdução

O presente apêndice teve como finalidade apresentar os carregamentos que formaram cada hipótese de carregamento e que foram utilizados no dimensionamento da nova estrutura.

2 Hipóteses de carregamento - Combinações

Vento Extremo (Figura E.1 a E.5)

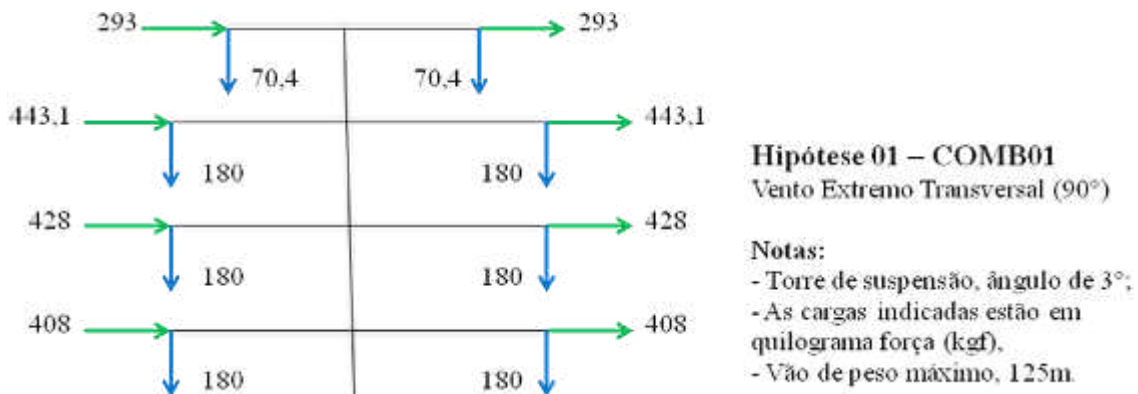


Figura E.1: Árvore de cargas para a Hipótese 01.

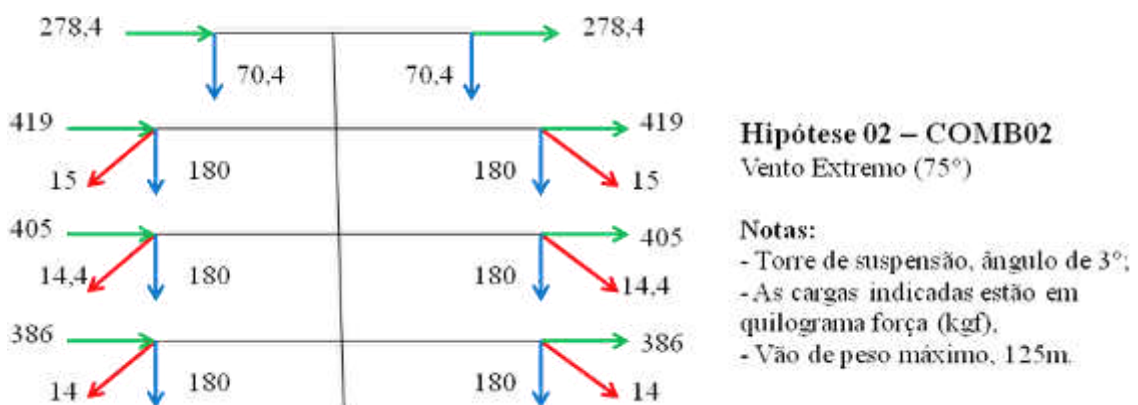
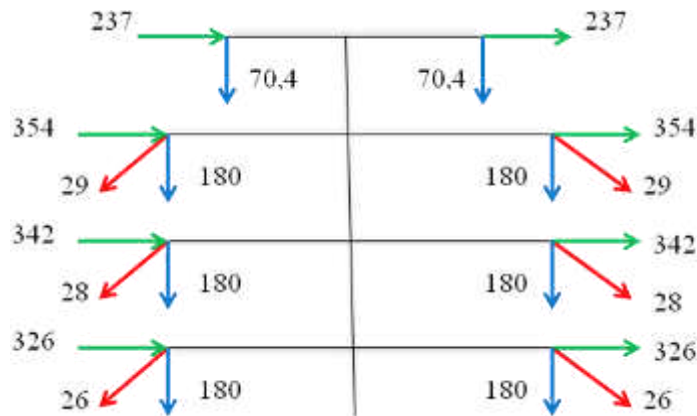


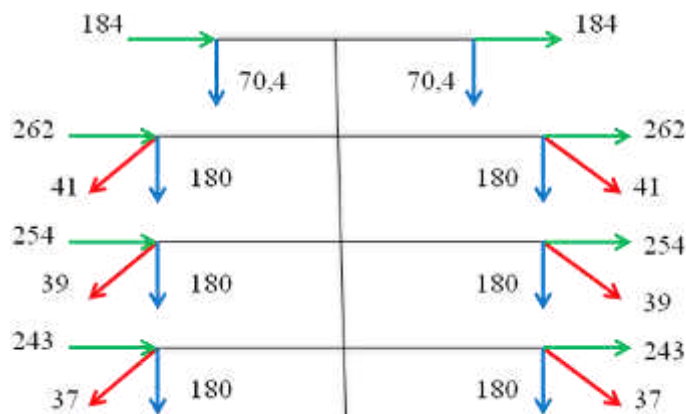
Figura E.2: Árvore de cargas para a Hipótese 02.



Hipótese 03 – COMB03
Vento Extremo (60°)

Notas:
- Torre de suspensão, ângulo de 3°;
- As cargas indicadas estão em quilograma força (kgf),
- Vão de peso máximo, 125m.

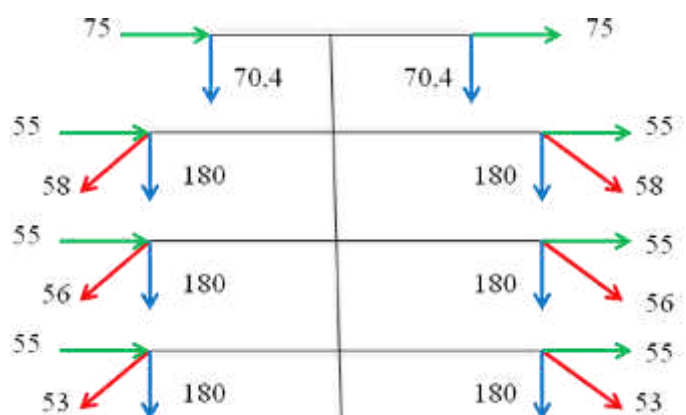
Figura E.3: Árvore de cargas para a Hipótese 03.



Hipótese 04 – COMB04
Vento Extremo (45°)

Notas:
- Torre de suspensão, ângulo de 3°;
- As cargas indicadas estão em quilograma força (kgf),
- Vão de peso máximo, 125m.

Figura E.4: Árvore de cargas para a Hipótese 04.



Hipótese 05 – COMB05
Vento Extremo Longitudinal (0°)

Notas:
- Torre de suspensão, ângulo de 3°;
- As cargas indicadas estão em quilograma força (kgf),
- Vão de peso máximo, 125m.

Figura E.5: Árvore de cargas para a Hipótese 05.

Vento de Tormentas Elétricas (Figura F.6 a F.10)

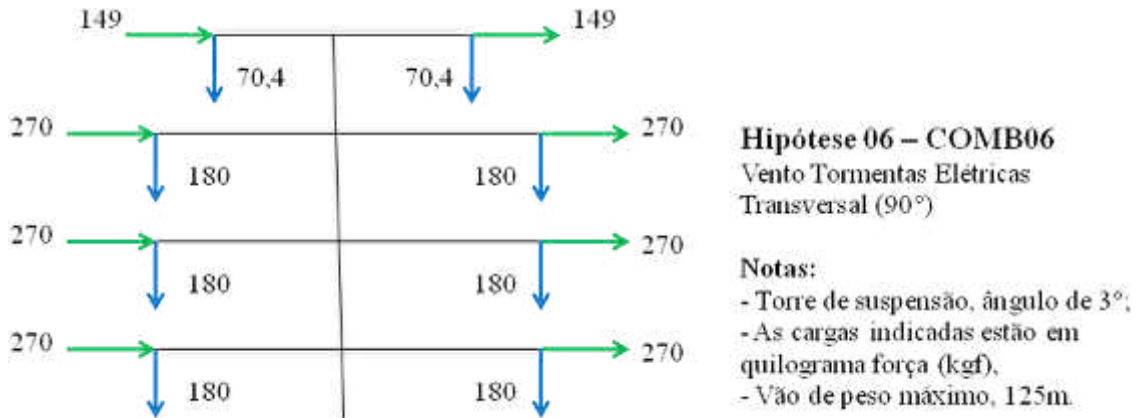


Figura E.6: Árvore de cargas para a Hipótese 06.

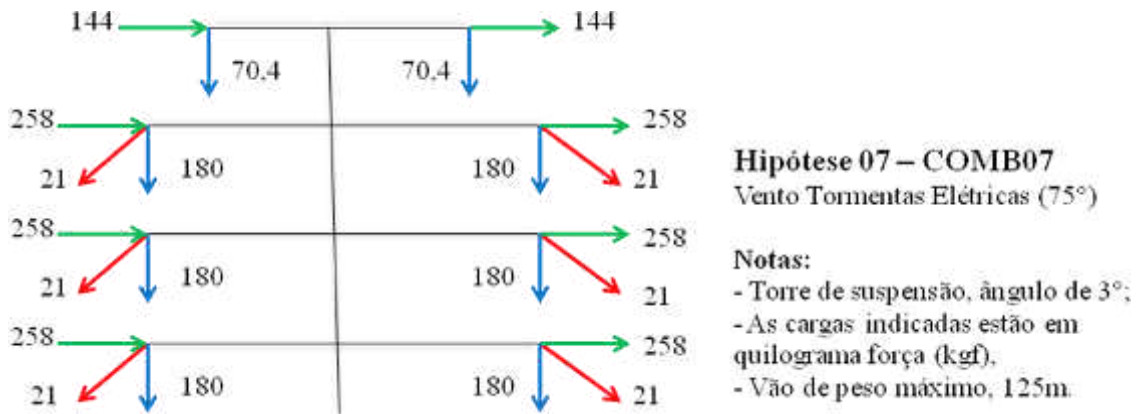


Figura E.7: Árvore de cargas para a Hipótese 07.

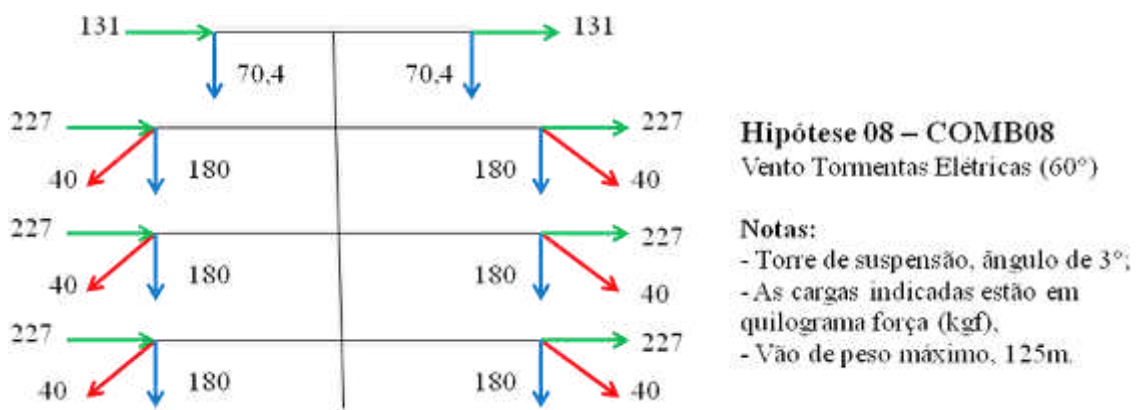


Figura E.8: Árvore de cargas para a Hipótese 08.

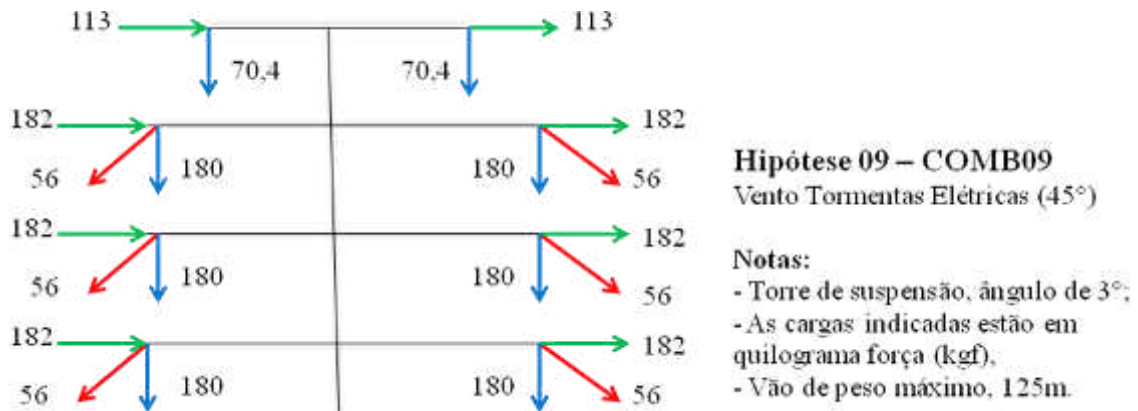


Figura E.9: Árvore de cargas para a Hipótese 09.

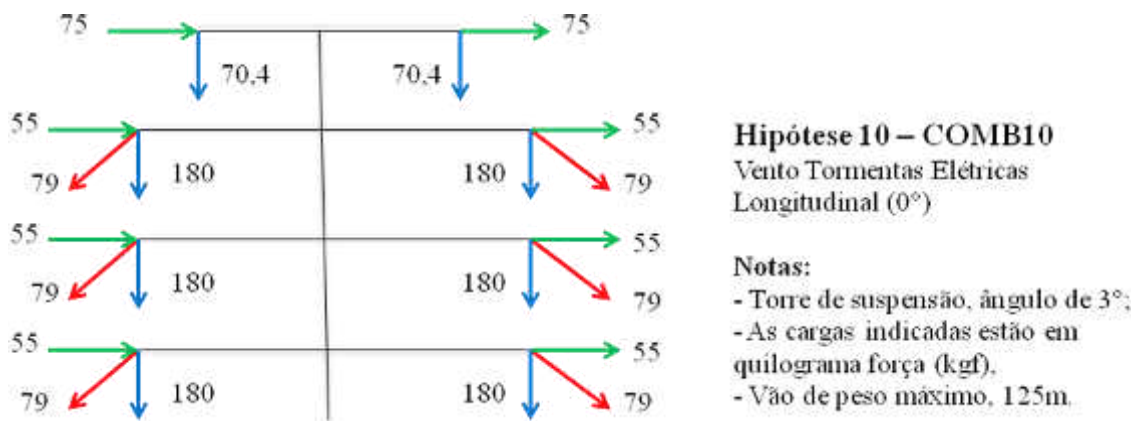


Figura E.10: Árvore de cargas para a Hipótese 10.

Ruptura do cabo condutor (Figura F.11 a F.16)

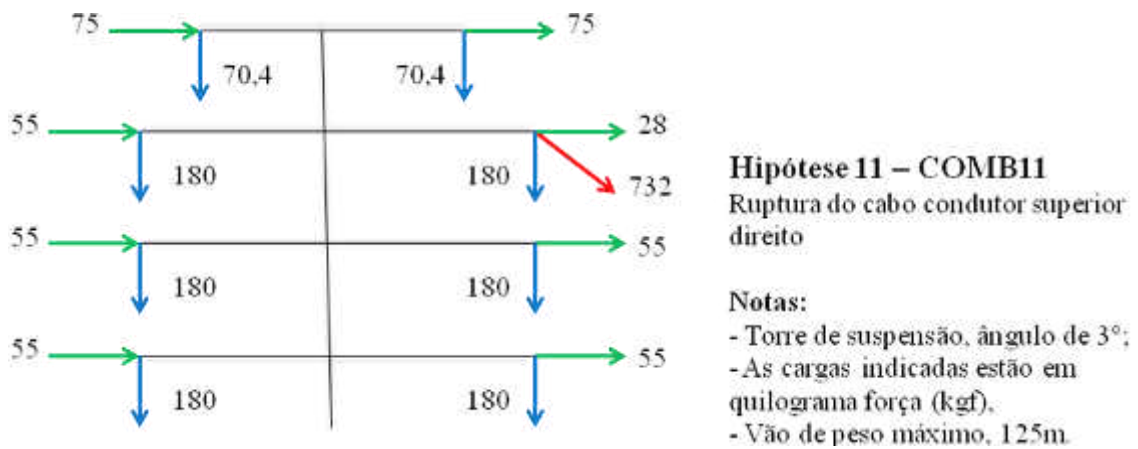
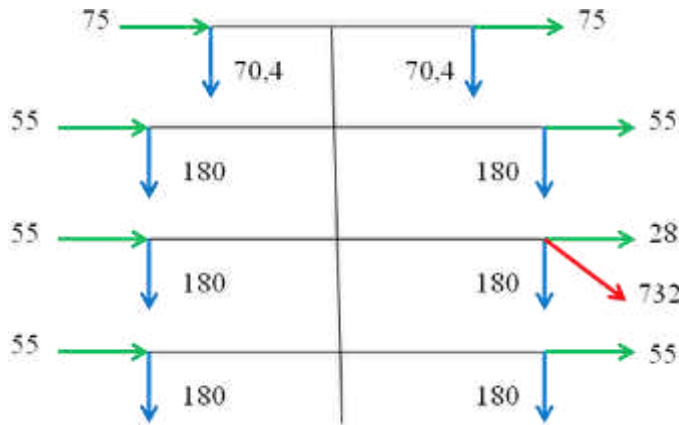


Figura E.11: Árvore de cargas para a Hipótese 11.



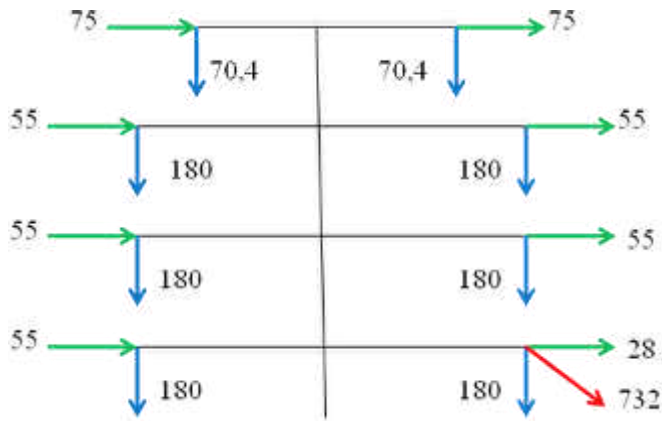
Hipótese 12 – COMB12

Ruptura do cabo condutor intermediário direito

Notas:

- Torre de suspensão, ângulo de 3°;
- As cargas indicadas estão em quilograma força (kgf),
- Vão de peso máximo, 125m.

Figura E.12: Árvore de cargas para a Hipótese 12.



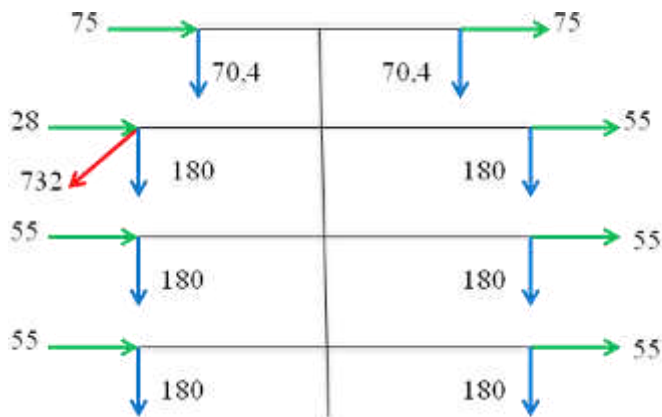
Hipótese 13 – COMB13

Ruptura do cabo condutor inferior direito

Notas:

- Torre de suspensão, ângulo de 3°;
- As cargas indicadas estão em quilograma força (kgf),
- Vão de peso máximo, 125m.

Figura E.13: Árvore de cargas para a Hipótese 13.



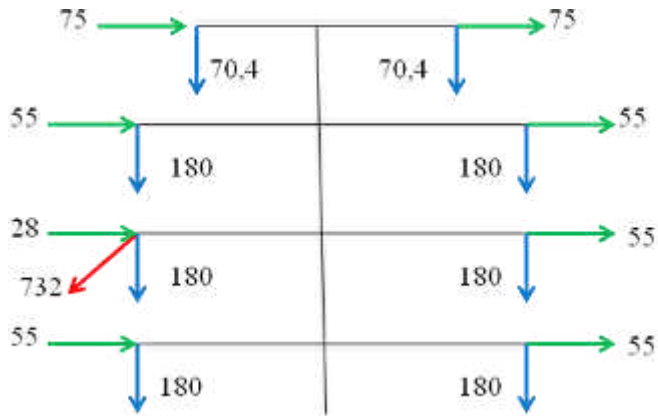
Hipótese 14 – COMB14

Ruptura do cabo condutor superior esquerdo

Notas:

- Torre de suspensão, ângulo de 3°;
- As cargas indicadas estão em quilograma força (kgf),
- Vão de peso máximo, 125m.

Figura E.14: Árvore de cargas para a Hipótese 14.



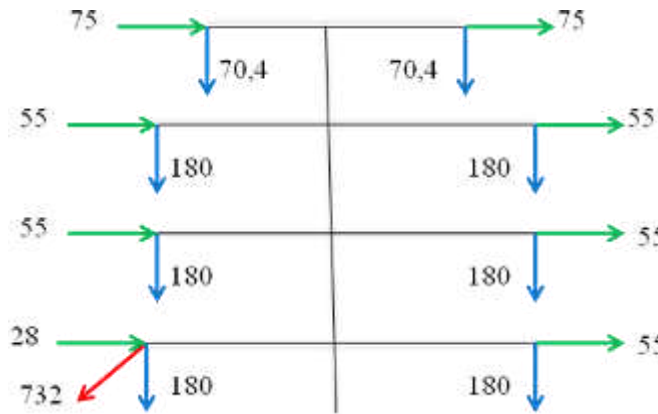
Hipótese 15 – COMB15

Ruptura do cabo condutor intermediário esquerdo

Notas:

- Torre de suspensão, ângulo de 3°;
- As cargas indicadas estão em quilograma força (kgf),
- Vão de peso máximo, 125m.

Figura E.15: Árvore de cargas para a Hipótese 15.



Hipótese 16 – COMB16

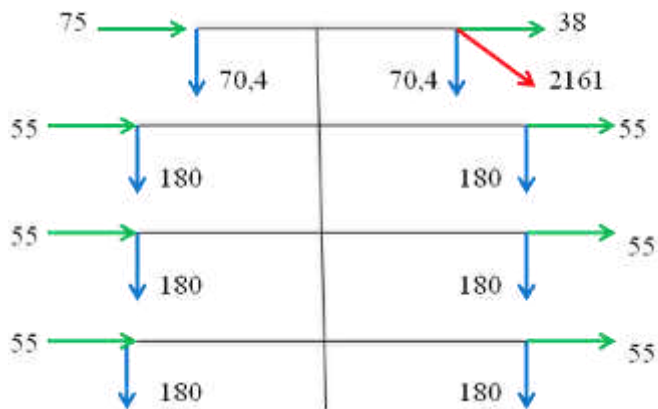
Ruptura do cabo condutor inferior esquerdo

Notas:

- Torre de suspensão, ângulo de 3°;
- As cargas indicadas estão em quilograma força (kgf),
- Vão de peso máximo, 125m.

Figura E.16: Árvore de cargas para a Hipótese 16.

Ruptura do cabo-guarda (Figura F.17 a F.18)



Hipótese 17 – COMB17

Ruptura do cabo-guarda direito

Notas:

- Torre de suspensão, ângulo de 3°;
- As cargas indicadas estão em quilograma força (kgf),
- Vão de peso máximo, 125m.

Figura E.17: Árvore de cargas para a Hipótese 17.

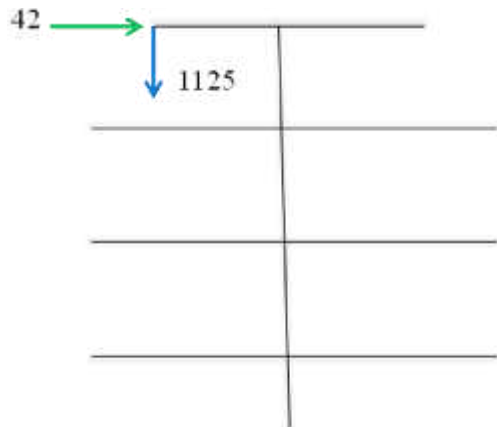


Hipótese 18 – COMB18
Ruptura do cabo-guarda esquerdo

- Notas:**
- Torre de suspensão, ângulo de 3°;
 - As cargas indicadas estão em quilograma força (kgf).
 - Vão de peso máximo, 125m.

Figura E.18: Árvore de cargas para a Hipótese 18.

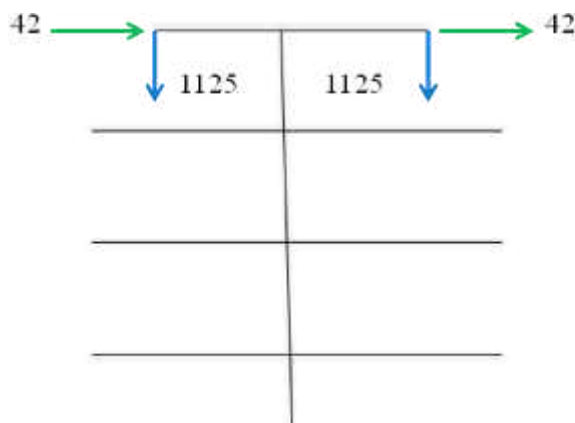
Montagem – Rotina I (Figura F.19 a F.26)



Hipótese 19 – COMB19
Montagem cabo-guarda esquerdo

- Notas:**
- Torre de suspensão, ângulo de 3°;
 - As cargas indicadas estão em quilograma força (kgf).
 - Vão de peso máximo, 125m.

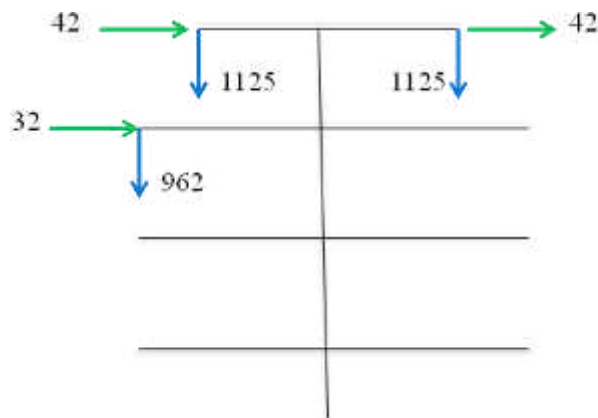
Figura E.19: Árvore de cargas para a Hipótese 19.



Hipótese 20 – COMB20
Montagem cabo-guarda direito

- Notas:**
- Torre de suspensão, ângulo de 3°;
 - As cargas indicadas estão em quilograma força (kgf).
 - Vão de peso máximo, 125m.

Figura E.20: Árvore de cargas para a Hipótese 20.

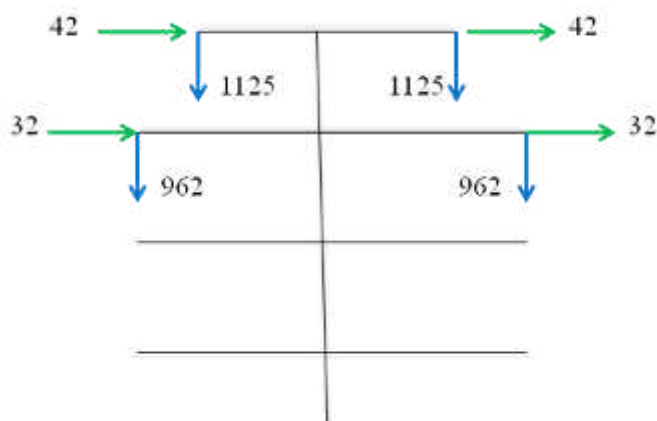
**Hipótese 21 – COMB21**

Montagem cabo condutor superior esquerdo

Notas:

- Torre de suspensão, ângulo de 3°;
- As cargas indicadas estão em quilograma força (kgf),
- Vão de peso máximo, 125m.

Figura E.21: Árvore de cargas para a Hipótese 21.

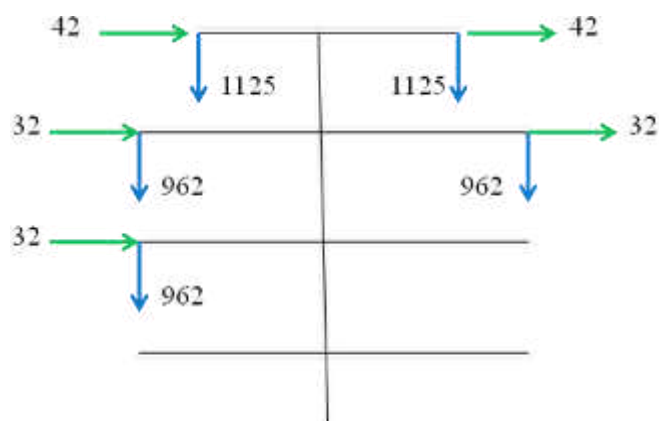
**Hipótese 22 – COMB22**

Montagem cabo condutor superior direito

Notas:

- Torre de suspensão, ângulo de 3°;
- As cargas indicadas estão em quilograma força (kgf),
- Vão de peso máximo, 125m.

Figura E.22: Árvore de cargas para a Hipótese 22.

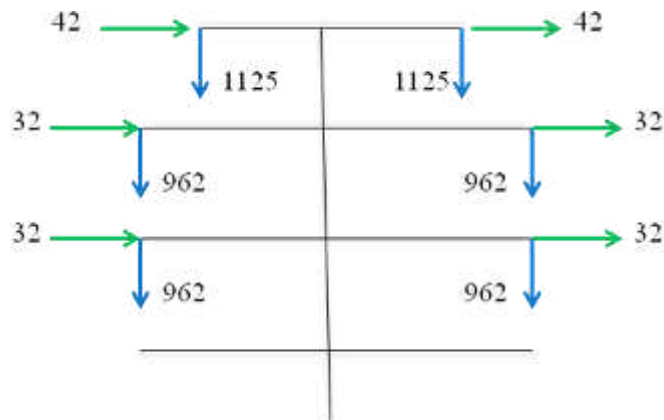
**Hipótese 23 – COMB23**

Montagem cabo condutor intermediário esquerdo

Notas:

- Torre de suspensão, ângulo de 3°;
- As cargas indicadas estão em quilograma força (kgf),
- Vão de peso máximo, 125m.

Figura E.23: Árvore de cargas para a Hipótese 23.

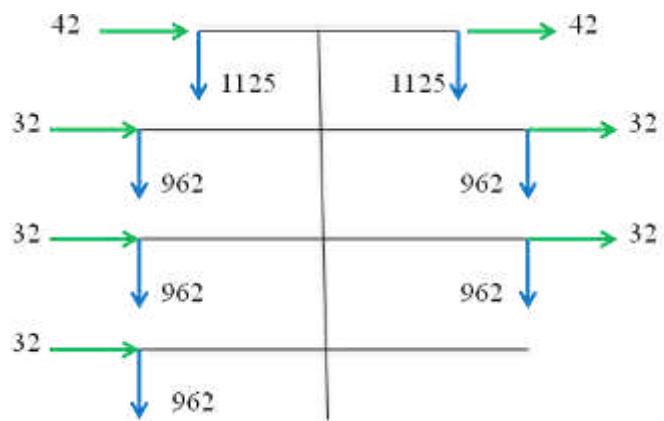
**Hipótese 24 – COMB24**

Montagem cabo condutor intermediário direito

Notas:

- Torre de suspensão, ângulo de 3°;
- As cargas indicadas estão em quilograma força (kgf).
- Vão de peso máximo, 125m.

Figura E.24: Árvore de cargas para a Hipótese 24.

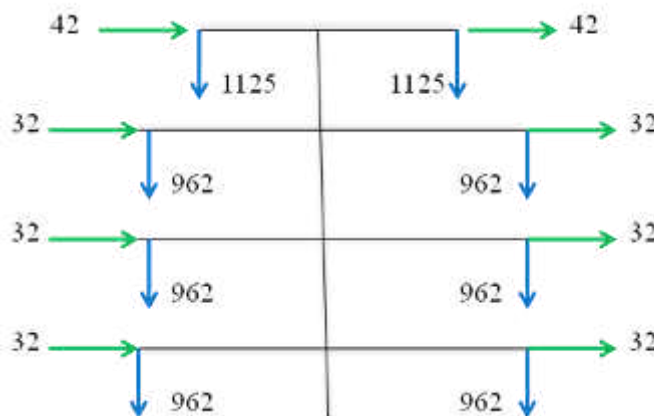
**Hipótese 25 – COMB25**

Montagem cabo condutor inferior esquerdo

Notas:

- Torre de suspensão, ângulo de 3°;
- As cargas indicadas estão em quilograma força (kgf).
- Vão de peso máximo, 125m.

Figura E.25: Árvore de cargas para a Hipótese 25.

**Hipótese 26 – COMB26**

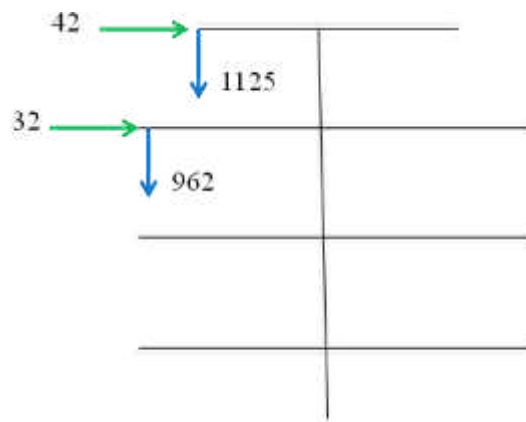
Montagem cabo condutor inferior direito

Notas:

- Torre de suspensão, ângulo de 3°;
- As cargas indicadas estão em quilograma força (kgf).
- Vão de peso máximo, 125m.

Figura E.26: Árvore de cargas para a Hipótese 26.

Montagem – Rotina II (Figura F.27 a F.31)

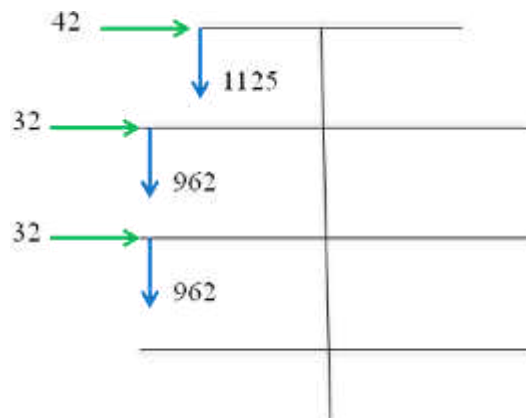


Hipótese 27 – COMB27
Montagem cabo condutor superior esquerdo

Notas:

- Torre de suspensão, ângulo de 3°;
- As cargas indicadas estão em quilograma força (kgf).
- Vão de peso máximo, 125m.

Figura E.27: Árvore de cargas para a Hipótese 27.

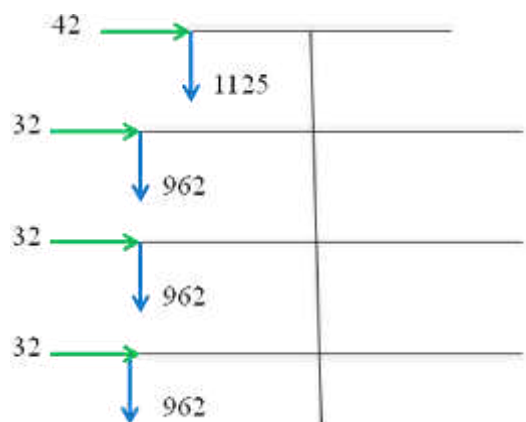


Hipótese 28 – COMB28
Montagem cabo condutor intermediário esquerdo

Notas:

- Torre de suspensão, ângulo de 3°;
- As cargas indicadas estão em quilograma força (kgf).
- Vão de peso máximo, 125m.

Figura E.28: Árvore de cargas para a Hipótese 28.

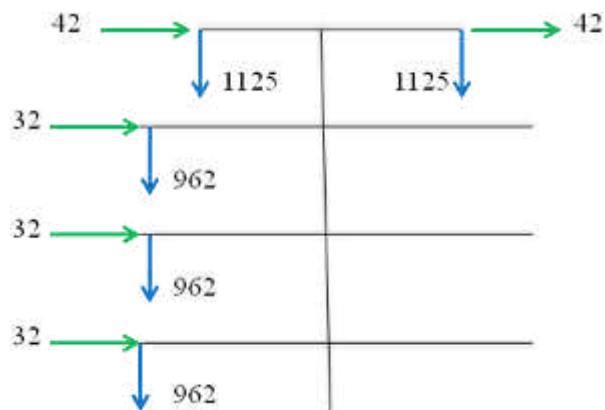


Hipótese 29 – COMB29
Montagem cabo condutor inferior esquerdo

Notas:

- Torre de suspensão, ângulo de 3°;
- As cargas indicadas estão em quilograma força (kgf).
- Vão de peso máximo, 125m.

Figura E.29: Árvore de cargas para a Hipótese 29.

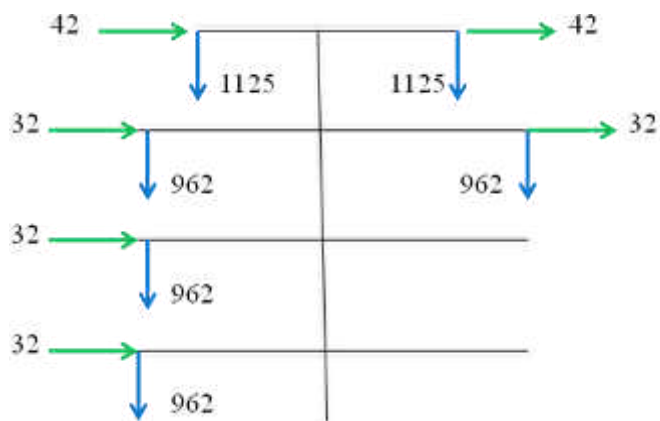


Hipótese 30 – COMB30
Montagem cabo-guarda direito

Notas:

- Torre de suspensão, ângulo de 3°;
- As cargas indicadas estão em quilograma força (kgf),
- Vão de peso máximo, 125m.

Figura E.30: Árvore de cargas para a Hipótese 30.



Hipótese 31 – COMB31
Montagem cabo condutor superior direito

Notas:

- Torre de suspensão, ângulo de 3°;
- As cargas indicadas estão em quilograma força (kgf),
- Vão de peso máximo, 125m.

Figura E.31: Árvore de cargas para a Hipótese 31.