

**Universidade Federal de Campina Grande**

**Centro de Engenharia Elétrica e Informática**

Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

ARTHUR FRANCISCO ANDRADE



Campina Grande, Paraíba  
Março de 2017

ARTHUR FRANCISCO ANDRADE

ESTÁGIO INTEGRADO  
ENERGY ELETRICIDADE LTDA

*Relatório de Estágio Integrado submetido à Unidade  
Acadêmica de Engenharia Elétrica da Universidade  
Federal de Campina Grande como parte dos requisitos  
necessários para a obtenção do grau de Bacharel em  
Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Processamento de Energia

Orientador:  
Professor André Dantas Germano, D. Sc.

Campina Grande, Paraíba  
Março de 2017

ARTHUR FRANCISCO ANDRADE

ESTÁGIO INTEGRADO  
ENERGY ELETRICIDADE LTDA

*Relatório de Estágio Integrado submetido à Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Processamento de Energia

Aprovado em:        /        /

**Professor Jalberth Fernandes de Araújo, D. Sc.**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Avaliador

**Professor André Dantas Germano, D. Sc.**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Orientador

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, Aquele que criou todas as coisas e nos concede o dom da vida.

A minha família, em especial a meus pais Anacleto e Dilza, que sempre fizeram o possível para me fornecer o apoio e auxílio que me permitiram chegar a esta etapa da vida.

A meu orientador, o professor André Dantas Germano, pela amizade, assistência e conselhos fornecidos durante o estágio e a elaboração do relatório.

Aos professores Edson Guedes e Leimar de Oliveira, pela amizade e pelo suporte fornecido junto à empresa.

A todos os funcionários do DEE, em especial a Tchai e Adail, pela prestatividade e cortesia que demonstraram durante minhas idas à coordenação.

Por fim, quero agradecer a toda a equipe da Energy, em especial aos engenheiros Luiz Alberto, Madson Roberto, Alfredo de Carvalho e Leonardo, pela solicitude, paciência e ensinamentos fornecidos durante o estágio.

*“Aprender é a única coisa de que a mente nunca se cansa, nunca tem medo e nunca se arrepende.”*

Leonardo da Vinci

## RESUMO

Este relatório tem por objetivo sintetizar os conhecimentos adquiridos e apresentar as principais atividades realizadas durante o estágio integrado realizado na empresa Energy Eletricidade Ltda., no período compreendido entre 1 de novembro de 2016 e 23 de fevereiro de 2017. As atividades desempenhadas pelo estagiário se concentraram no estudo e orçamentação de projetos de redes de média tensão, subestações e linhas de transmissão. Com o intuito de agilizar as atividades desenvolvidas, foi desenvolvido um aplicativo de cálculo dos principais materiais para cotação de redes e linhas de transmissão aéreas. Posteriormente, foram realizadas visitas técnicas às obras no Complexo Eólico Santo Inácio em Icapuí - CE e na ampliação da subestação Icaraizinho em Amontada - CE.

**Palavras-chave:** Linhas de transmissão, subestações, orçamentação de projetos.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Sede da empresa Energy Eletricidade Ltda. (FIUZA, 2015). .....	2
Figura 2 – Organograma da empresa. ....	3
Figura 3 – Evolução da geração eólica no Nordeste. ....	4
Figura 4 - Determinação do nível econômico de tensão. ....	7
Figura 5 – Custo da transmissão em função da potência para diferentes níveis de tensão. ....	8
Figura 6 – Silhuetas de estruturas de aço autoportante e estaiada. ....	9
Figura 7 – Estrutura de ancoragem de concreto.....	10
Figura 8 – Estruturas de LTs aéreas.....	11
Figura 9 – Fundação tipo sapata.....	12
Figura 10 - Vão de linha de transmissão e flecha do cabo. ....	13
Figura 11 – Cabos CAA e CAL (ACL, 2014) (a) e carretel com cabo CAA (b).....	14
Figura 12 – Exemplos de isoladores de vidro (a), porcelana (b) (PIRES, 2009) e polimérico (c). .....	15
Figura 13 – Torres autoportantes de aço, circuito horizontal, com cabos para-raios e contrapeso. .....	17
Figura 14 – Etapas da execução de fundação em concreto armado para torre de aço.....	19
Figura 15 – Etapas da montagem de uma estrutura autoportante de aço para LT 230 kV. ....	21
Figura 16 – Lançamento de cabos. ....	22
Figura 17 – Aterramento e seccionamento de cercas metálicas. ....	23
Figura 18 – Equipamentos da SE Icaraizinho. ....	25
Figura 19 - Conexão de um parque eólico ao sistema elétrico. ....	29
Figura 20 – Menu principal do aplicativo. ....	32
Figura 21 – Menu do item 1: parâmetros básicos da LT. ....	33
Figura 22 – Submenu do item 2: Isoladores. ....	33
Figura 23 – Submenu do item 3: Parâmetros das fundações. ....	34
Figura 24 – Tipos de fundações.....	34
Figura 25 – Menu do item 4: Massa dos cabos condutores e contrapeso. ....	35
Figura 26 – Localização das obras da Energy no Ceará. ....	36
Figura 27 - Parque eólico em construção. ....	37
Figura 28 – Montador trabalhando na implantação da RMT. ....	37
Figura 29 – Trecho da RMT subterrânea em construção. ....	38
Figura 30 – Marcos de sinalização. ....	38
Figura 31 - Cabo isolado utilizado na RMT subterrânea. ....	39
Figura 32 – Diagrama unifilar da SE Coletora Santo Inácio. ....	39
Figura 33 – SE Santo Inácio .....	40
Figura 34 – Cabos de comando da SE expostos.....	41
Figura 35 – Entrada da RMT subterrânea na subestação. ....	41

Figura 36 – Casa de comando da SE Santo Inácio. ....	42
Figura 37 – Abertura da faixa de servidão. ....	43
Figura 38 - Armação de aço para fundação e peças para as torres da LT. ....	45
Figura 39 – SE Icaraizinho. ....	46
Figura 40 – Bay em construção na SE Icaraizinho. ....	47
Figura 41 – Configuração do bay antes (a) e após (b) a instalação do desvio. ....	48
Figura 42 – Etapas da montagem dos barramentos superiores do novo bay. ....	49
Figura 43 – Desmontagem do barramento existente. ....	51
Figura 44 – Etapas da instalação do desvio no pórtico superior. ....	51
Figura 45 – Gerador para suprimento de energia do canteiro de obras. ....	52
Figura 46 – Limpeza dos invólucros de equipamentos da SE. ....	53
Figura 47 – Placa de aviso quanto ao uso de EPIs. ....	53

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CA	Corrente Alternada
CAA	Cabo de Alumínio com Alma de Aço
CAL	Condutor de Alumínio Liga
CC	Corrente Contínua
CEPEL	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
CESI	Complexo Eólico Santo Inácio
EPI	Equipamento de Proteção Individual
EPR	<i>Ethylene propylene rubber</i>
HVDC	<i>High Voltage Direct Current</i>
IP	Isolador de Pedestal
LI	Licença de Instalação
LT	Linha de transmissão
NBI	Nível Básico de Isolamento
ONAF	Óleo Natural, Ar Forçado
ONS	Operador Nacional do Sistema
OPGW	<i>Optical Ground Wire</i>
PR	Para-raios
RMT	Rede de Média Tensão
RAMT	Rede Aérea de Média Tensão
RDO	Relatório Diário de Obra
SE	Subestação
SEP	Sistema Elétrico de Potência
SESMT	Serviço Especializado em Engenharia de Segurança e em Medicina do Trabalho
SIN	Sistema Interligado Nacional
SPDA	Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas
TC	Transformador de Corrente
TP	Transformador de Potencial
UFV	Usina Fotovoltaica

# SUMÁRIO

1.	Introdução .....	1
1.1.	Motivação.....	1
1.2.	Objetivos .....	1
2.	Empresa.....	2
2.1.	História e Área de Atuação .....	2
2.2.	Estrutura Organizacional .....	3
2.3.	Atuação da Empresa Diante do Cenário Atual do Setor Elétrico .....	4
3.	Construção de Linhas de Transmissão e Subestações .....	6
3.1.	Tipos de Linhas de Transmissão .....	6
3.2.	Determinação do Nível de Tensão da LT .....	7
3.3.	Componentes de uma LT aérea .....	8
3.3.1.	Estruturas da LT .....	8
3.3.2.	Fundações.....	12
3.3.3.	Condutores .....	13
3.3.4.	Isoladores .....	14
3.3.5.	Aterramento e SPDA.....	17
3.4.	Etapas da construção de uma LT .....	18
3.4.1.	Serviços preliminares .....	18
3.4.2.	Execução das Fundações .....	19
3.4.3.	Montagem das estruturas da LT .....	21
3.4.4.	Lançamento de cabos .....	22
3.4.5.	Etapas finais e comissionamento.....	23
3.5.	Construção de Subestações.....	24
3.5.1.	Definição, classificação e equipamentos .....	24
3.5.2.	Etapas da construção de uma subestação .....	25
4.	Atividades Desenvolvidas .....	27
4.1.	Orçamentação e Gestão de Projetos .....	27
4.1.1.	Elaboração de proposta de execução de obra .....	27
4.1.2.	Cotações para centrais geradoras .....	28
4.1.3.	Estudos da especificação técnica de uma RMT subterrânea.....	31
4.2.	Desenvolvimento de Aplicativo de Cálculo de Materiais para Orçamentação de LTs .....	32
5.	Visitas Técnicas .....	36
5.1.	Complexo Eólico Santo Inácio.....	36
5.2.	SE Icaraizinho .....	46
6.	Conclusões .....	54
7.	Referências Bibliográficas .....	55
	Apêndice A – Registro de Atividades .....	57
	Apêndice B – Exemplo de Relatório Produzido pelo Aplicativo Desenvolvido .....	61

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. MOTIVAÇÃO

Na estrutura curricular do curso de Engenharia Elétrica da UFCG, o estágio é uma disciplina obrigatória, sendo requisito necessário à conclusão do curso. Espera-se que a conciliação entre os conhecimentos teóricos e práticos seja uma contribuição para a formação profissional do futuro engenheiro.

Isto posto, este relatório tem como objetivo apresentar os conhecimentos adquiridos e relatar as principais atividades realizadas durante o estágio integrado realizado na empresa Energy Eletricidade Ltda., no período compreendido entre 1 de novembro de 2016 e 23 de fevereiro de 2017.

## 1.2. OBJETIVOS

Dado que durante a maior parte do tempo o aluno esteve na sede da empresa, as principais atividades do estágio consistiram na realização de estudos e orçamentação de projetos de linhas de transmissão, redes de média tensão e subestações. O principal objetivo do estágio foi o desenvolvimento de métodos que permitissem racionalizar a cotação de projetos, de forma que as atividades pudessem ser realizadas de forma mais ágil e segundo uma metodologia mais uniforme.

Posteriormente, foram realizadas visitas técnicas com o objetivo de acompanhar a execução das obras em andamento.

## 2. EMPRESA

### 2.1. HISTÓRIA E ÁREA DE ATUAÇÃO

A Energy Eletricidade Ltda. foi fundada em 1995 pelo engenheiro Luiz Alberto Leite, na cidade de Campina Grande - PB, onde fica localizada sua sede. As atividades da empresa consistem na execução de projetos elétricos de baixa, média e alta tensão, com as respectivas obras civis. Os serviços nos quais a Energy é especializada são:

- Construção de linhas de transmissão (LTs) com tensão de 69 kV a 500 kV;
- Construção de redes de média tensão (RMTs), aéreas ou subterrâneas, para centrais geradoras, sistemas de distribuição de energia e complexos industriais;
- Construção ou ampliação de subestações (SEs) com tensões de 69 kV a 500 kV.

Uma fotografia da sede pode ser vista na Figura 1.

Figura 1 – Sede da empresa Energy Eletricidade Ltda. (FIUZA, 2015).



Fonte: FIUZA, 2015.

## 2.2. ESTRUTURA ORGANIZACIONAL

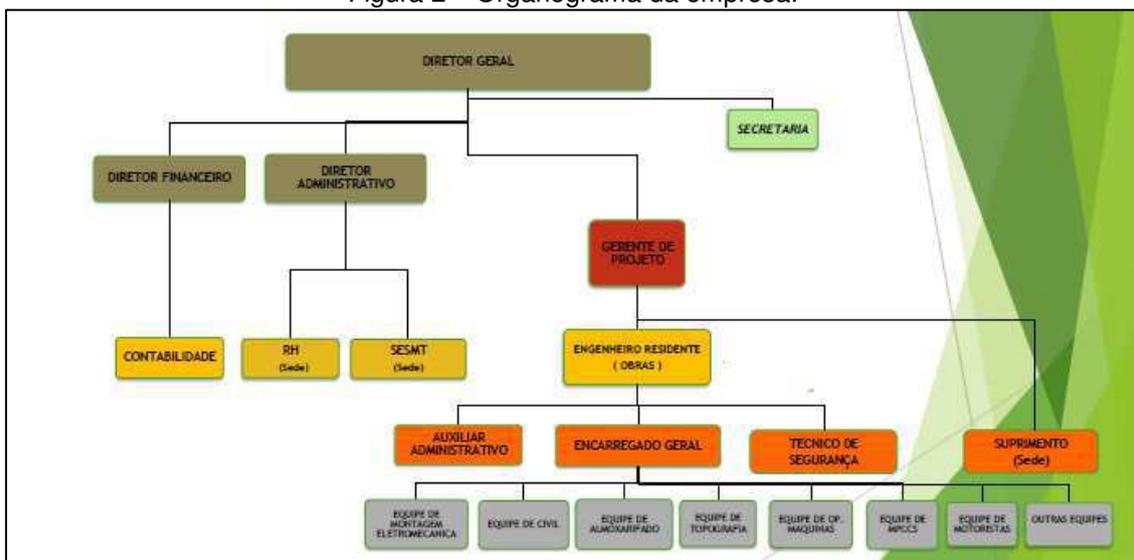
A estrutura organizacional da Energy é apresentada no organograma esboçado na Figura 2. Como pode ser visto, ela é composta pela diretoria, situada na sede, setores de contabilidade, RH e SESMT (Serviço Especializado em Engenharia de Segurança e em Medicina do Trabalho).

O suprimento de materiais é concentrado na sede, o que permite a realização de compras em maior quantidade e, assim, a obtenção de maiores vantagens nas negociações.

Instalada em cada um dos canteiros de obra, existe a administração local composta pelo engenheiro residente e seus colaboradores. Ao encarregado geral e auxiliar administrativo cabem a gerência administrativa da obra. O técnico de segurança no trabalho é responsável por fiscalizar e garantir as condições de segurança adequada, de forma a conciliar a execução da obra de forma eficiente, em tempo hábil, com a preservação da vida dos seres humanos envolvidos.

Ao gerente de projetos é delegada a função de exercer um contato mais direto com as equipes de administração local, acompanhando as atividades e tratando as demandas dos canteiros de obra.

Figura 2 – Organograma da empresa.



Fonte: ENERGY, 2016.

## 2.3. ATUAÇÃO DA EMPRESA DIANTE DO CENÁRIO ATUAL DO SETOR ELÉTRICO

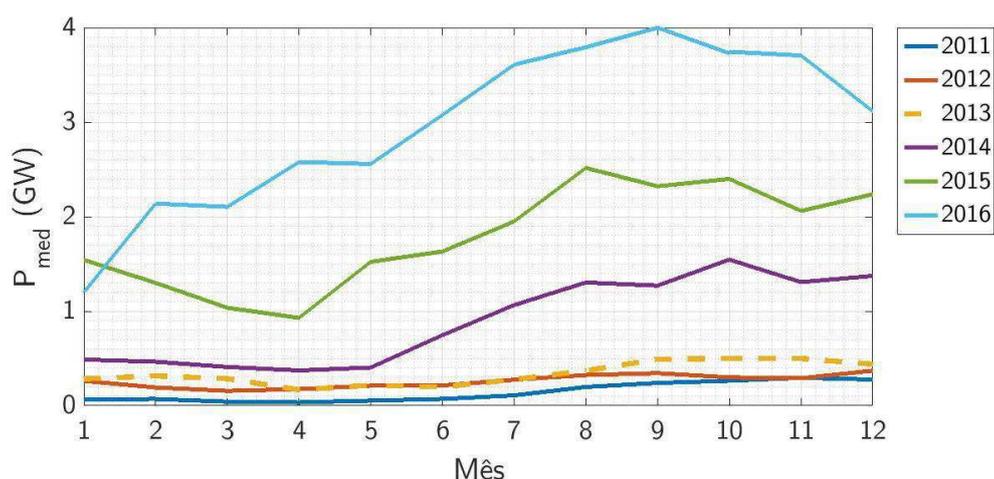
Nos últimos anos, tem havido no Brasil um crescimento expressivo na capacidade instalada de fontes alternativas de geração de energia elétrica, em especial eólica e fotovoltaica. A expansão tem ocorrido sobretudo na região Nordeste que, sozinha, possui um potencial eólico de cerca de 75,0 GW. O potencial eólico total do país foi estimado em 143,5 GW, segundo estudo realizado pelo CEPEL (2001).

O quadro atual da geração eólica no Brasil e a evolução da potência eólica gerada na região Nordeste podem ser apreendidos da análise da Tabela 1 e da Figura 3, respectivamente. Ambas foram elaboradas a partir de dados divulgados pelo ONS (2017).

Tabela 1 – Geração de energia eólica no Brasil em 2016.

Região	Energia gerada (GWh)	Potência média (MW)	Fração (%)
<b>Nordeste</b>	26078,3	2969	84,6
<b>Sul</b>	4733,3	539	15,4
<b>SIN</b>	30811,6	3508	100

Figura 3 – Evolução da geração eólica no Nordeste.



Fonte: O próprio autor, com base em dados do ONS.

A construção de novos complexos fotovoltaicos e parques eólicos acarreta na necessidade de implantação de toda uma infraestrutura de coleta e

transmissão de energia que permita a conexão das centrais geradoras ao Sistema Interligado Nacional (SIN). Assim, é criada uma demanda por construção de subestações coletoras, linhas de média e alta tensão e construção ou ampliação de subestações. É esperado que o setor se mantenha aquecido nos próximos anos. O Plano Decenal de Expansão de Energia 2024 (2015) prevê um acréscimo de 20 GW na capacidade instalada eólica entre 2014 e 2024 e admite a necessidade de um “[...] adequado dimensionamento da rede básica a fim de escoar a energia das usinas já licitadas, bem como prover de folga o sistema elétrico de transmissão para conexão de novos empreendimentos. ”

Inserida nesse contexto, a Energy tem atuado em diversas obras de parques eólicos e centrais fotovoltaicas. Durante a realização do estágio, os seguintes projetos encontravam-se em execução:

- Ampliação e construção de casas de comando na subestação coletora do complexo fotovoltaico Ituverava, em Tabocas do Brejo Velho – BA;
- Construção de rede de média tensão para parque eólico em Serra do Mel – RN;
- Ampliação da Subestação Coletora Icaraizinho, em Amontada – CE. Atualmente a subestação conecta o parque eólico Icaraizinho ao sistema elétrico;
- Implantação de rede de 34,5 kV, construção de subestação coletora 34,5/230 kV, linha de transmissão 230 kV e bay de recepção na subestação Mossoró IV para a interligação do Complexo Eólico Santo Inácio ao sistema elétrico.

Neste capítulo, a empresa e seu ramo de atuação foram apresentados. Foi realizado um breve comentário acerca da expansão na exploração de fontes de energia renováveis na região Nordeste, que acarreta em um expressivo aumento de demanda no ramo de atividade no qual a empresa está inserida. No próximo capítulo, são apresentados os conhecimentos acerca do projeto e etapas de construção de LTs, RMTs e subestações.

## 3. CONSTRUÇÃO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO E SUBESTAÇÕES

### 3.1. TIPOS DE LINHAS DE TRANSMISSÃO

De modo a tornar viável o transporte de energia elétrica das fontes geradoras aos centros de distribuição, linhas de transmissão que atendam a critérios técnicos e econômicos devem ser construídas.

No que se refere à sua configuração, as linhas de transmissão podem ser aéreas, subterrâneas ou subaquáticas. Uma linha de transmissão aérea é aquela na qual o principal meio isolante é o ar. Já em uma linha subterrânea, são empregados cabos isolados e enterrados no solo, enquanto em uma linha subaquática são empregados cabos isolados lançados no leito do corpo de água a ser transposto.

Segundo Menezes (2015), LTs subaquáticas são a opção mais viável em projetos especiais de travessias de rios e canais com vãos muito grandes, o que tornaria inviável a implantação de estruturas aéreas. Entretanto, segundo Kimbark (1971), a alta capacitância dos cabos submersos torna ineficiente a transmissão de potência ativa em corrente alternada para distâncias maiores que 30 km, sendo necessário, nesse caso, o emprego de corrente contínua (HVDC).

Já as LTs subterrâneas apresentam maior custo de instalação se comparadas às LTs aéreas e seu emprego é restrito em geral a centros urbanos, em projetos que apresentam limitações quanto ao espaço necessário para as estruturas aéreas.

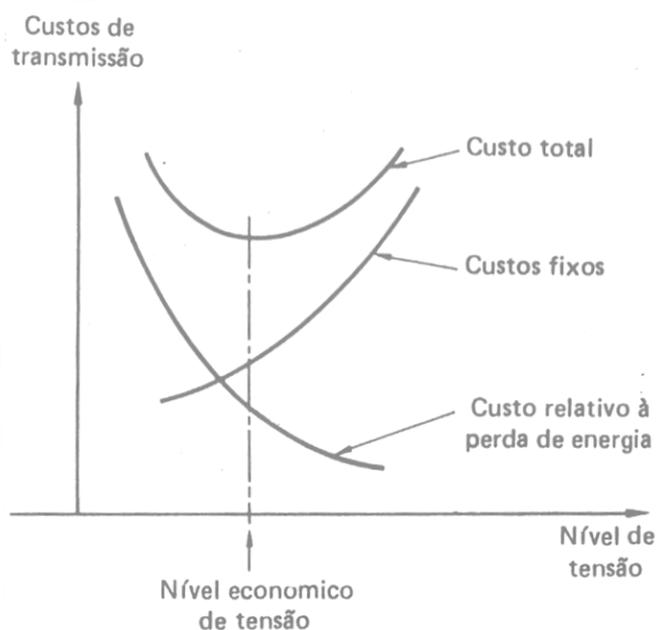
Devido a apresentarem custo comparativamente menor, LTs aéreas são a opção majoritária para a transmissão de energia. Portanto, nas seções seguintes a sigla LT fará referência implícita a linha de transmissão área.

### 3.2. DETERMINAÇÃO DO NÍVEL DE TENSÃO DA LT

Os parâmetros básicos do projeto de uma linha de transmissão de energia elétrica são o comprimento da linha e a potência elétrica a ser transmitida. O nível de tensão da LT é determinado em função da distância e potência especificadas, empregando critérios econômicos e considerando os custos de construção, adequação com o sistema já existente e as perdas durante o período de retorno.

Segundo Ferreira (2004), o custo total envolvido na transmissão de energia é constituído dos custos fixos, que são os custos de implantação, manutenção das estruturas e equipamentos da LT, e dos custos relativos à perda de energia. Ao passo que o aumento da tensão de transmissão reduz a perda de energia por condução, ele implica em um aumento nos custos fixos. A Figura 4 esquematiza o problema envolvido em determinar o nível ótimo de tensão para uma determinada potência a ser transmitida, apresentando o nível econômico de tensão, que é a abscissa do gráfico que minimiza os custos de transmissão.

Figura 4 - Determinação do nível econômico de tensão.

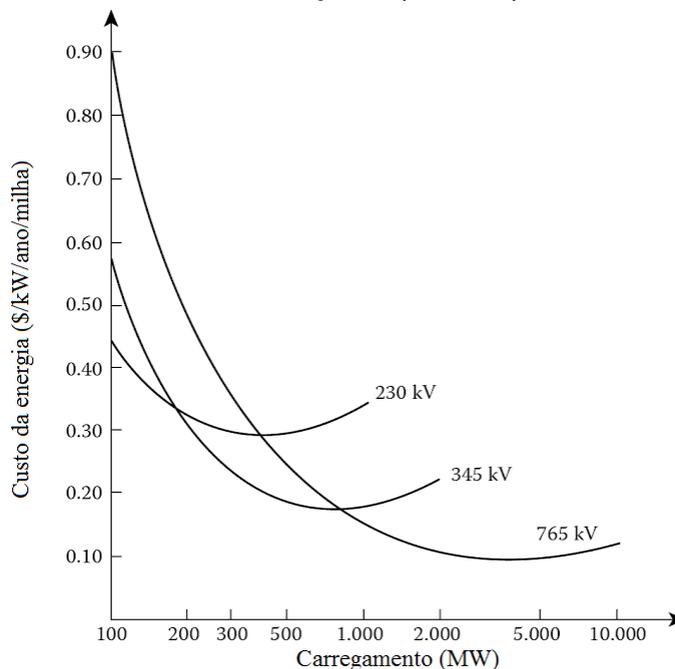


Fonte: FERREIRA, 2004.

Já na Figura 5, é possível verificar o efeito do aumento do carregamento da LT sobre o custo da transmissão para três níveis de tensão especificados: 230, 345 e 765 kV. A análise da Figura 5 permite constatar que cada um dos

níveis de tensão é a opção com menor custo em uma das faixas de potência demandada.

Figura 5 – Custo da transmissão em função da potência para diferentes níveis de tensão.



Fonte: GÖNEN, 2014, p. 147, adaptado.

### 3.3. COMPONENTES DE UMA LT AÉREA

No Brasil, o projeto de linhas aéreas de transmissão de energia elétrica é normatizado pela NBR 5422.

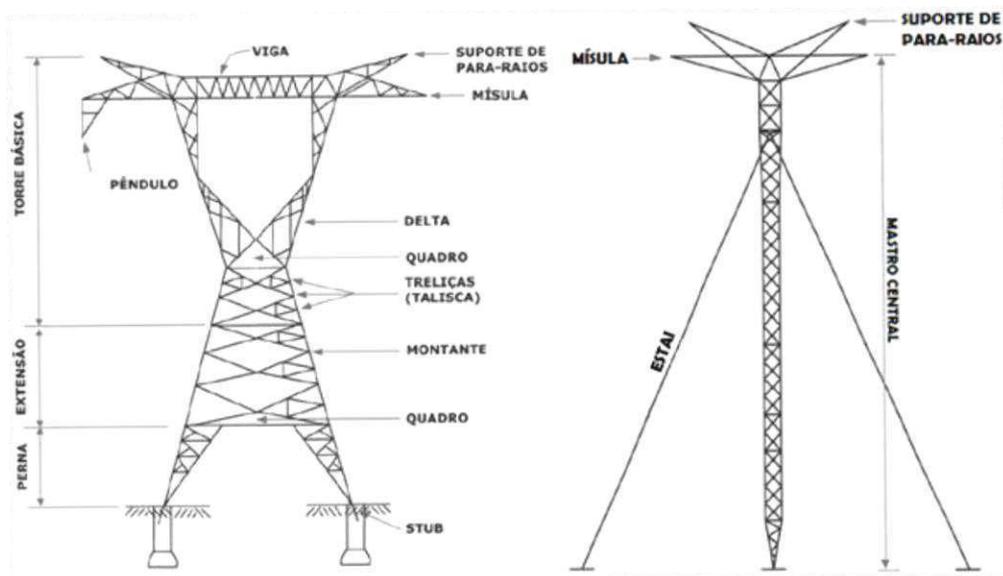
Do ponto de vista executivo, o projeto da LT consiste em especificar o tipo, quantidade e localização das fundações e estruturas e em especificar e quantificar número de circuitos, cabos condutores, isoladores, ferragens, cabos de aterramento e cabos transmissão de dados.

#### 3.3.1. Estruturas da LT

As estruturas da LT têm por objetivo fornecer suporte aos condutores, fornecendo as distâncias mínimas de isolamento entre condutores de fases diferentes e entre os condutores e as partes aterradas. A estrutura pode ser classificada quando ao material constituinte, disposição dos circuitos, modo de sustentação e função na LT.

Quanto ao modo de sustentação, a estrutura pode ser **autoportante**, quando ela sustenta a si própria, ou **estaiada**, quando ela é fixada ao solo com o auxílio de cabos metálicos denominados estais. Na Figura 6, são apresentadas silhuetas de estruturas com ambos os modos de sustentação.

Figura 6 – Silhuetas de estruturas de aço autoportante e estaiada.



Fonte: FURNAS, 2012 apud MENEZES, 2015.

No que se refere ao aspecto construtivo, a estrutura pode ser de **aço galvanizado**, **concreto** ou ainda **madeira**. O emprego de madeira é menos comum, está em desuso e é restrito a estruturas de média tensão.

Quer seja de aço ou concreto, existem diversos modelos de estrutura adequados a condições topográficas, do solo e número de circuitos especificados. Uma estrutura de concreto armado apresenta menor custo e maior simplicidade na montagem, ao passo que a torre de aço deve ser montada peça por peça. Entretanto, em relação a viabilidade da manutenção, torres de aço são mais vantajosas, pois componentes danificados podem ser substituídos de forma relativamente simples, enquanto que uma avaria em uma estrutura de concreto armado não é facilmente remediada, podendo representar uma falha permanente na integridade da estrutura.

Segundo Gontijo (1994, apud AZEVEDO, 2007, p. 13), as estruturas podem ainda ser classificadas, com respeito a sua função na LT, como:

- **Estrutura de suspensão:** tem como função apoiar ou sustentar os cabos condutores e para-raios, elevando-os verticalmente e

diminuindo a distância destes ao solo. As estruturas de suspensão não exercem tração horizontal significativa sobre os cabos, portanto não podem ser utilizadas em vértices do traçado, isto é, em pontos onde a LT possui um ângulo.

- **Estrutura de ancoragem:** é utilizada para ancoragem dos cabos. Na estrutura de ancoragem, os cabos não apenas percorrem a estrutura, mas estão presos e tracionados por meio de isoladores posicionados horizontalmente. Assim, a estrutura de ancoragem permite mudança na direção dos cabos e, portanto, é necessária para a inserção de um ângulo no traçado da LT. Devido ao fato de ser submetida a trações na direção horizontal, tanto sua estrutura como fundação devem ser mais robustas que as da torre de suspensão. Quando usada nas extremidades da LT, é chamada de estrutura terminal.
- **Estrutura de derivação:** para instalar uma derivação em um determinado ponto da linha;
- **Estrutura de transposição:** para alterar o posicionamento dos condutores e, assim, propiciar o equilíbrio entre as fases da LT.

As estruturas podem ainda ser classificadas de acordo com a disposição geométrica dos condutores de fase: horizontal, vertical, em delta etc. Qualquer que seja o tipo da estrutura, os parâmetros empregados para caracterizá-la são: peso, altura e valor de tração líquida suportável, em daN.

Nas fotografias das Figura 7 e 8, são apresentadas, a título de ilustração, fotografias de estruturas de apoio de LTs.

Figura 7 – Estrutura de ancoragem de concreto.



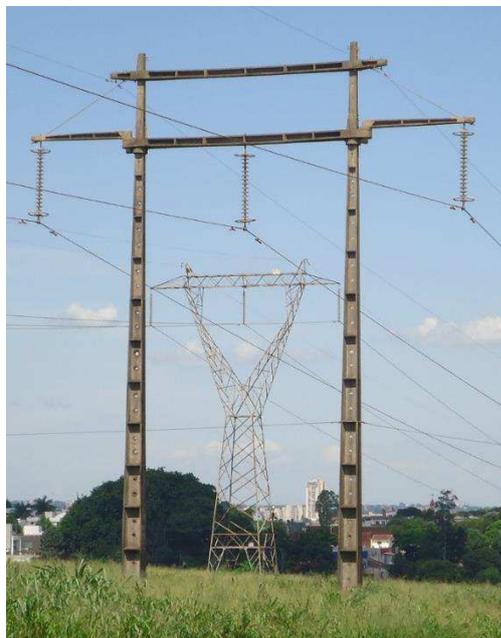
Fonte: INCOPOSTES, 2013.

Na fotografia da Figura 7, é retratada uma estrutura de concreto com circuito duplo, vertical, de ancoragem em ângulo.

Figura 8 – Estruturas de LTs aéreas.



(a)



(b)



(c)



(d)

Fonte: ROCHA JUNIOR, 2014.

Nas fotografias das Figuras 8a, 8b, e 8c, são retratadas estruturas de LTs 230 kV, circuito simples e em disposição horizontal. Nas Figuras 8a e 8b as estruturas são de suspensão. Já nas Figuras 8c e 8d, elas são de ancoragem. A

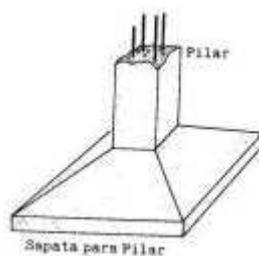
torre da fotografia da Figura 8d pertence a uma LT HVDC (do inglês, *High Voltage Direct Current*)  $\pm 600$  kV.

### 3.3.2. Fundações

As fundações são os elementos responsáveis pela fixação das estruturas de apoio e devem ser projetadas com base no tipo de estrutura, peso e nas condições topográficas e geológicas da localidade. Estruturas de aço autoportantes possuem quatro fundações. Estruturas de aço estaiadas podem possuir uma ou duas fundações, enquanto estruturas de concreto possuem uma fundação para cada poste.

O projeto detalhado de fundações envolve a determinação de seus materiais componentes e da geometria a ser empregada. Os tipos de fundação mais empregados para estruturas de aço são o tubulão, que consiste em um alicerce cilíndrico de concreto armado, e a sapata, que é composta por um pilar alargado na base, como pode ser visto na ilustração da Figura 9:

Figura 9 – Fundação tipo sapata.



Fonte: BOLONHA, 2017, adaptado.

No caso da implantação de postes de concreto, a profundidade de engastamento, isto é, o comprimento do poste que será enterrado no solo, é definida em norma e determinada pela Equação 1:

$$e = 0,1 \cdot L + 0,6 \quad (1)$$

Na Equação 1,  $e$  representa a profundidade do engastamento e  $L$  o comprimento do poste, ambos em metro.

No capítulo 5, que trata das atividades desenvolvidas, serão fornecidos maiores detalhes acerca dos aspectos construtivos e modelos de fundações.

### 3.3.3. Condutores

Os cabos condutores são os elementos responsáveis pelo transporte da energia elétrica propriamente dita. O seu projeto deve atender a requisitos elétricos, mecânicos e econômicos.

O dimensionamento econômico dos condutores consiste em determinar a área de seção transversal que minimiza o custo total do cabo. O custo total, por sua vez, é composto pelos custos de aquisição e instalação, que aumentam com o incremento da área de seção do condutor, e pelo custo de operação, que decresce com o aumento da área de seção reta.

Do ponto de vista elétrico, um cabo condutor é projetado para atender a valores especificados de resistência e indutância por unidade de comprimento, além da intensidade de campo elétrico na superfície do condutor, que deve ser minimizada de forma a reduzir descargas corona e, conseqüentemente, perdas e desgaste do próprio cabo.

Com respeito ao desempenho mecânico, o cabo condutor é avaliado segundo sua resistência mecânica calculada (RMC), em kN, massa linear e flecha. A flecha (do inglês, *sag*) é a distância vertical entre os pontos de suspensão e o ponto mais baixo alcançado pelo condutor, quando este é suspenso entre dois pontos.

Na Figura 10, é apresentado um diagrama representativo de um vão de LT, no qual são destacadas as componentes vetoriais das trações  $T$  atuantes no cabo condutor, a flecha  $f$  e a menor distância do condutor ao solo, denominada distância de segurança  $h$ .



Figura 10 - Vão de linha de transmissão e flecha do cabo.

Tanto os parâmetros elétricos quanto mecânicos são resultantes dos materiais que compõe o cabo. A configuração mais utilizada em linhas aéreas de alta tensão é o **cabo de alumínio com alma de aço** (CAA ou *ACSR – aluminum conductor steel reinforced*), um cabo nu composto de condutores menores encordoados em que o alumínio confere um alto valor de condutividade com peso reduzido e a alma de aço fornece resistência mecânica à tração.

Há ainda o condutor de alumínio liga (CAL ou *AAAC - all aluminum alloy conductor*), que é mais resistente mecanicamente se comparado a ligas de alumínio comuns, e é mais empregado em redes de distribuição.

Na Figura 11, são apresentadas fotografias da seção de cabos CAA e CAL e de um carretel típico utilizado para armazenagem e transporte.

Figura 11 – Cabos CAA e CAL (a) e carretel com cabo CAA (b).



(a)

(b)

Fonte: ACL, 2014 (a) e o próprio autor (b).

Depois de escolhido o tipo de cabo, a área de seção transversal deve ser dimensionada. O critério utilizado consiste em determinar a área que minimiza o custo total, dado pelo custo de instalação mais os custos em operação.

Os fabricantes fornecem tabelas com dados de área da seção transversal, diâmetro, massa linear (kg/km), resistência mecânica (kN), resistência elétrica ( $\Omega/\text{km}$ ) e capacidade de condução de corrente elétrica (A).

### 3.3.4. Isoladores

Os isoladores têm a função de acoplar os cabos às estruturas ao mesmo tempo em que fornecem isolação elétrica entre cabo e estrutura. Eles devem resistir tanto a solicitações elétricas como a solicitações mecânicas.

Uma falha em um isolador pode ocasionar descarga entre condutor e elemento aterrado ou a queda do cabo condutor, eventos que podem acarretar

em prejuízos ao sistema elétrico e às empresas e, o que é mais grave, risco de acidentes no caso da queda de um cabo. Assim, deve-se garantir que o conjunto de isoladores suporte as solicitações mecânicas devido ao peso dos cabos e efeitos adversos. A tração suportável por um isolador é geralmente expressa em kN.

A superfície do isolador deve apresentar bom desempenho frente a condições atmosféricas e ambientais adversas, tais como neblina, chuva, poeira ou poluição. Assim, diferentes tipos de isoladores devem ser escolhidos de acordo com as características da região na qual a LT será implantada.

Quanto ao material constitutivo, os isoladores podem ser divididos em três grupos:

- Isoladores cerâmicos: construídos em porcelana vitrificada fabricada de modo a evitar porosidades que comprometam o desempenho dielétrico;
- Isoladores de vidro: o material dielétrico empregado é o vidro temperado;
- Isoladores poliméricos: tem como material base diferentes tipos de borracha ou silicone, com aditivos que visam aprimorar a suportabilidade da superfície às condições ambientais.

Fotografias de isoladores fabricados com os três tipos de materiais podem ser vistas na Figura 12.

Figura 12 – Exemplos de isoladores de vidro (a), porcelana (b) e polimérico (c).



Fonte: PIRES, 2009; BALESTRO, 2015.

Segundo Garcia (2003b apud MARAN, 2010), isoladores vítreos constituem 70% dos isoladores utilizados em transmissão a alta e extra alta tensão, devido à sua relativa confiabilidade e facilidades de manutenção.

Isoladores poliméricos têm apresentado desempenho superior em regiões de alta poluição. Entretanto, devido a serem constituídos de material orgânico, sua estrutura pode ser gravemente comprometida por oxidação e trilhamento quando da ocorrência de descargas, enquanto isoladores constituídos de material inorgânico apresentam menor desgaste face a ação do tempo e esforços dielétricos.

Ao passo que conjuntos de isoladores de vidro ou porcelana empregados em LTs são constituídos de cadeias, os isoladores poliméricos são formados por uma única peça formada por um núcleo de fibra de vidro e o revestimento polimérico propriamente dito.

Outro ponto a ser destacado é o fato de o isolador polimérico apresentar menor peso e ser mais compacto quando comparado a isoladores equivalentes de vidro ou porcelana. Essa redução no peso e dimensões possibilita o dimensionamento de estruturas menos robustas, o que diminui o custo da LT.

As características dos isoladores de acordo com o material empregado são resumidas e confrontadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Comparativo entre isoladores de porcelana, de vidro e poliméricos (SOUSA, 2006, adaptado).

<b>Tipo</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
<b>Porcelana</b>	Longa história de uso; pouca susceptibilidade a envelhecimento	Corrosão de partes metálicas; Ocorrência de porosidades; suscetível a vandalismo
<b>Vidro</b>	Reconhecimento de unidades com defeito; menor susceptibilidade a envelhecimento	Muito suscetível ao vandalismo.
<b>Polimérico</b>	Peso; desempenho frente poluição; menor custo de instalação; resistência a impactos; compacto.	Ocorrência de fraturas frágeis; Suscetível a descargas e envelhecimento; Pode ser desgastado por animais

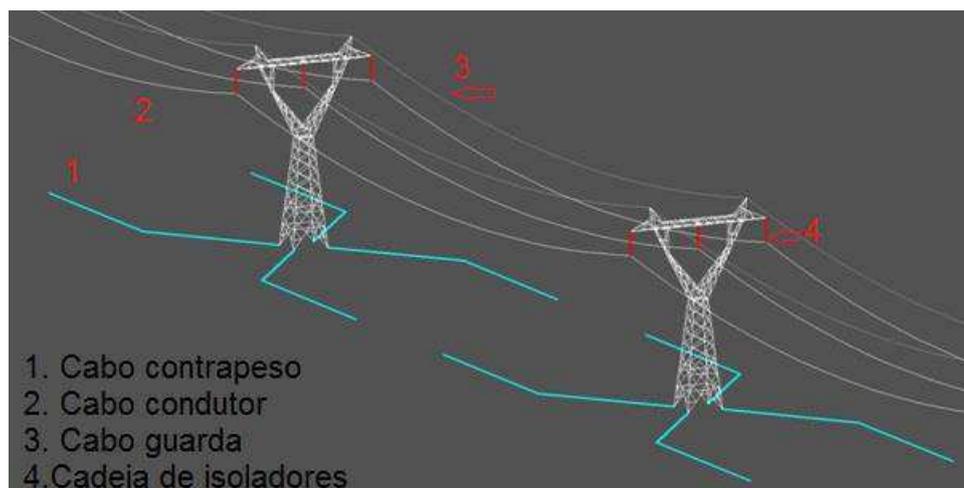
### 3.3.5. Aterramento e SPDA

A implantação de um sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA) em conjunto com um sistema de aterramento adequado é imprescindível para a operação segura e confiável da LT.

O SPDA de LTs aéreas consiste em cabos guarda, também chamados de cabos para-raios. O cabo para-raios é um cabo condutor, em geral solidamente aterrado, instalado em posição superior ao(s) circuito(s) da LT, de forma a interceptar as descargas atmosféricas e reduzir a possibilidade de interrupção do fornecimento de energia pela LT (LABELAGINI et al., 1992). Uma disposição de cabos para-raios comum em estruturas de aço pode ser vista nas silhuetas da Figura 6.

De modo a se garantir um funcionamento eficiente do SPDA, com a drenagem das descargas atmosféricas para a terra e a prevenção do surgimento de sobretensões, propagadas ou induzidas, é necessário garantir a eficiência do aterramento. Em estruturas de aço, a própria estrutura metálica é utilizada como condutor de aterramento. As ferragens das fundações são conectadas aos cabos contrapeso, que são cabos de aço enterrados no sentido longitudinal da LT, com profundidade em torno de 50 a 90 cm, conforme a ilustração apresentada na Figura 13.

Figura 13 – Torres autoportantes de aço, circuito horizontal, com cabos para-raios e contrapeso.



Fonte: FAW7, 2015.

Em estruturas autoportantes de aço como as ilustradas na Figura 13, um valor típico para o comprimento de cada cabo contrapeso é 40 m.

Atualmente, em muitas LTs são utilizados cabos para-raios do tipo OPGW (do inglês, *optical ground wire*), que possuem em seu interior fibras óticas utilizadas para transmissão de dados.

No caso de estrutura de concreto, todo o comprimento da estrutura deve ser percorrido por um condutor de aterramento. Todas as peças metálicas não energizadas devem ser interligadas ao condutor, que é aterrado por meio de ao menos uma haste de aterramento.

### 3.4. ETAPAS DA CONSTRUÇÃO DE UMA LT

De modo a executar o projeto de construção de uma LT em tempo hábil, é necessário um planejamento criterioso. As principais etapas da construção, conforme evidenciado durante o estágio e de acordo com especificação da CEMIG (2007), são listadas a seguir.

#### 3.4.1. Serviços preliminares

- Instalação de canteiro de obras: em estudos preliminares à execução da obra, é indispensável realizar considerações concernentes à distância da localidade aos centros urbanos mais próximos. Gastos com logística, transporte de pessoal, materiais e equipamentos devem ser previstos, bem como obtenção de licenças ambientais (LI).
- Levantamento topográfico: uma equipe de topografia deve obter o perfil topográfico da região e realizar a locação da faixa de servidão e das locações das torres;
- Abertura de faixa de servidão e construção de acessos: a faixa de servidão é uma faixa de terreno que acompanha o traçado da LT, com largura mínima especificada pela NBR 5422, de modo a permitir a implantação, operação e manutenção da linha. A abertura da faixa consiste na supressão da vegetação local de modo a possibilitar o transporte de equipamentos, materiais e estruturas e o lançamento dos cabos.

### 3.4.2. Execução das Fundações

- Preparação de estruturas: caso as fundações sejam de concreto armado, as armações de concreto devem ser construídas conforme o projeto.
- Escavação: as escavações são realizadas em geral utilizando trado ou outros equipamentos similares. Durante a escavação das fundações, podem ocorrer imprevistos tais como a descoberta de camadas rochosas ou afloramento de água, que acarretam em dificuldades e requerem o uso de técnicas e equipamentos especiais para a conclusão da atividade.
- Preenchimento das cavas:
  - No caso de fundações para estruturas de aço, após a escavação a fundação de concreto armado é construída, e o *stub* – a primeira peça da estrutura metálica – é fixado à fundação.
  - No caso de estruturas de concreto, o poste é implantado e é realizado o preenchimento da fundação com concreto, solo cimento ou outra mistura especificada em projeto.

Etapas da execução de fundações de concreto armado para estruturas de uma LT de 230 kV podem ser vistas nas fotografias da Figura 14. Na Figura 14a, pode ser vista a armação de vergalhões de aço depositada na cava. Na Figura 14b, é mostrada a deposição da forma para o concreto ao redor da armação. Na Figura 14c, é mostrada a fixação do *stub*, realizada com a supervisão de um topógrafo de modo a garantir que o correto encaixe das demais peças que serão montadas em uma próxima etapa.

Figura 14 – Etapas da execução de fundação em concreto armado para torre de aço.





(c)



(d)



(e)



(f)



(g)



(h)

Fonte: O próprio autor.

O eletroduto pelo qual o cabo contrapeso será instalado através do concreto pode ser visto nas Figuras 14d e 14f, nesta já após a concretagem. Na fotografia da Figura 14e é mostrado o concreto recém depositado na forma, enquanto na Figura 14f ele já está seco e na Figura 14g o reaterro está sendo realizado. Na Figura 14h, podem ser vistas as quatro fundações prontas para o início da montagem da estrutura.

### 3.4.3. Montagem das estruturas da LT

- Seleção das peças destinadas a cada tipo de estrutura;
- Distribuição das estruturas, postes, cruzetas e ferragens ao longo das locações;
- Instalação de estais, quando existirem;
- Montagem das estruturas:
  - Em estruturas de concreto, geralmente o poste é implantado e em seguida são montadas cruzetas e ferragens;
  - Em estruturas de aço, as peças individuais são montadas ainda no solo em grupos maiores, que em seguida são içados e fixados na estrutura, conforme pode ser visto nas fotografias da Figura 15.

Figura 15 – Etapas da montagem de uma estrutura autoportante de aço para LT 230 kV.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

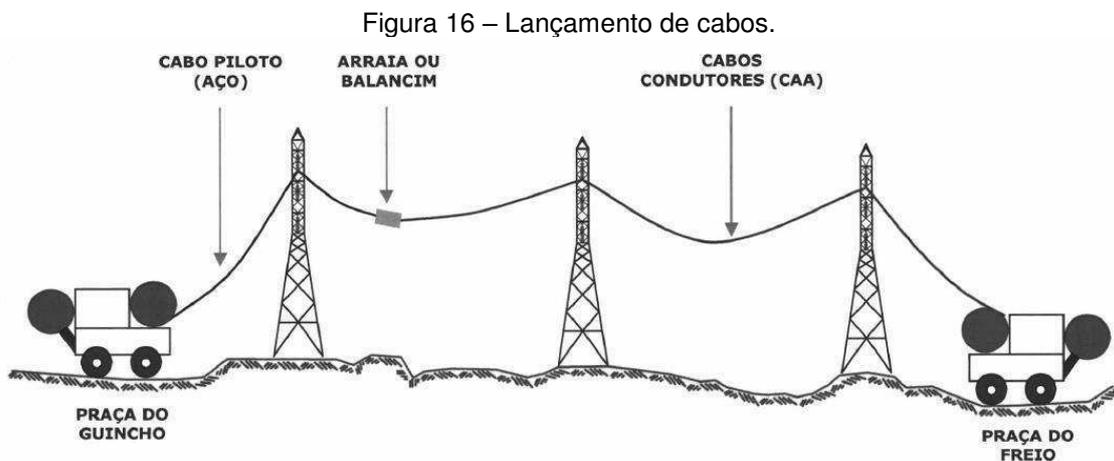
Fonte: O próprio autor.

- Aterramento das estruturas, implantação de cabos contrapeso e hastes de aterramento.

#### 3.4.4. Lançamento de cabos

O lançamento de cabos consiste na fixação dos cabos condutores e para-raios às estruturas. Ele não ocorre obrigatoriamente após o término da implantação de todas as estruturas. De modo a acelerar o andamento das atividades, mais de uma equipe pode estar em atividade: uma à frente, atuando na implantação de estruturas, seguida por uma equipe executando o lançamento de cabos.

Durante o lançamento, os condutores devem ser aterrados para prevenir eventuais tensões induzidas. Normalmente um cabo piloto é lançado primeiro, sendo posteriormente conectado ao condutor por meio de um balancim. Os cabos são puxados por um guincho enquanto na outra extremidade eles saem das bobinas e passam pelo freio, onde é feito o controle da tensão mecânica do lançamento (MENEZES, 2015). Um esquema típico de lançamento pode ser visto na ilustração da Figura 16.



Fonte: FURNAS, 2012 apud MENEZES, 2015.

No traçado projetado para a LT podem existir interferências tais como estradas, redes de média tensão ou outras LTs já implantadas, cruzando o traçado. Quando da ocorrência de interferências, devem ser previstas as chamadas **travessias**. Na travessia de estrada ou rodovia, deve ser realizada, se possível, a interdição temporária do trecho no qual os cabos serão lançados.

No projeto de travessia com outra LT ou RMT, deve ser previsto se o circuito será lançado acima ou abaixo do circuito já existente. O modo do

lançamento deve ser definido de forma que o circuito de maior tensão, se houver, fique posicionado acima do outro circuito. Também devem ser garantidas as distâncias mínimas de separação entre condutor e condutor, condutor e estruturas e a distância entre o condutor mais baixo e o solo.

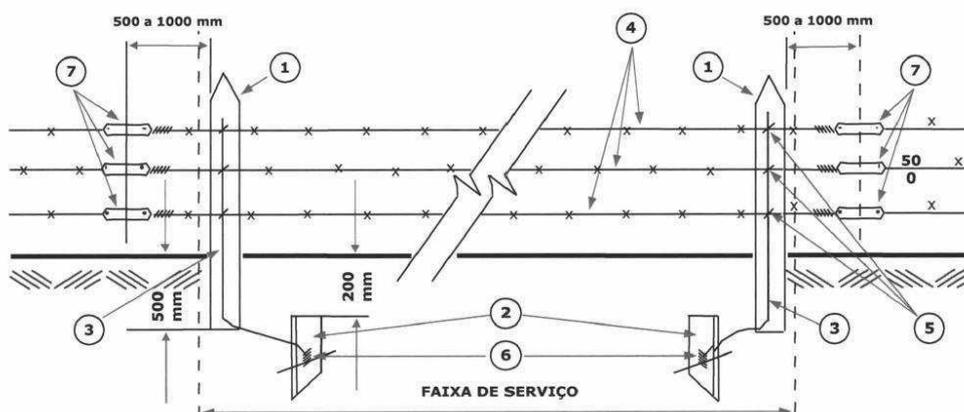
É preferível que o trecho a ser transposto seja desenergizado. Caso contrário, deve ser planejado o procedimento para a travessia de LT ou RMT energizada, que é sempre um procedimento de risco. No caso de o novo circuito ser lançado acima do existente, geralmente são instaladas **empancaduras**, que são estruturas isoladoras de madeira e cordas isolantes que visam separar e garantir a distância de isolamento entre os condutores na ocasião do tracionamento dos novos cabos.

### 3.4.5. Etapas finais e comissionamento

As atividades geralmente realizadas na etapa final da construção são:

- Aterramento e seccionamento de cercas: cercas metálicas que cruzam ou que estão próximas à LT em construção devem ser seccionadas e aterradas por motivo de segurança, conforme o esquema apresentado na Figura 17. O aterramento, realizado em pontos predefinidos (1), previne a energização da estrutura por meio de tensões induzidas pela LT ou pela eventual queda de um condutor. O seccionamento das partes condutoras das cercas (7) garante o isolamento entre trechos contíguos, de modo que uma eventual energização de um trecho de cerca não se propague por longas distâncias.

Figura 17 – Aterramento e seccionamento de cercas metálicas.



Fonte: FURNAS, 2012 apud MENEZES, 2015.

- Instalação de placas de identificação das estruturas, placas de sinalização ou advertência, esferas de sinalização e caixas de emenda para OPGW.
- Comissionamento: o comissionamento consiste na inspeção minuciosa das fundações, estruturas, ferragens e isoladores, em busca de possíveis defeitos. A continuidade dos condutores é verificada e deve-se garantir que elementos que serão energizados não estejam aterrados.

### 3.5. CONSTRUÇÃO DE SUBESTAÇÕES

#### 3.5.1. Definição, classificação e equipamentos

Segundo Monteiro (1999), subestação (SE) é uma instalação elétrica de potência utilizada para dirigir o fluxo de energia no sistema elétrico. As principais funções realizadas por subestações são: transformação do nível de tensão, manobra, faturamento e proteção do sistema contra faltas de diferentes tipos.

Quanto à função, podem ser classificadas como:

- **Subestação de manobra:** interliga circuitos de mesma tensão;
- **Subestação elevadora:** instalada junto às centrais geradoras, aumenta o nível de tensão para viabilizar a transmissão de energia elétrica;
- **Subestação abaixadora:** instalada em relativa proximidade aos centros consumidores, reduz a tensão a níveis adequados à distribuição e consumo da energia.

Quanto ao modo de instalação, as subestações podem ser abrigadas ou externas. A disposição dos equipamentos da subestação é determinada pelo tipo de instalação, nível de tensão, potência e confiabilidade esperada. A maioria das SEs utilizadas no sistema elétrico são externas, tendo como principal isolante o ar atmosférico.

Os principais equipamentos que podem estar presentes em uma subestação típica são:

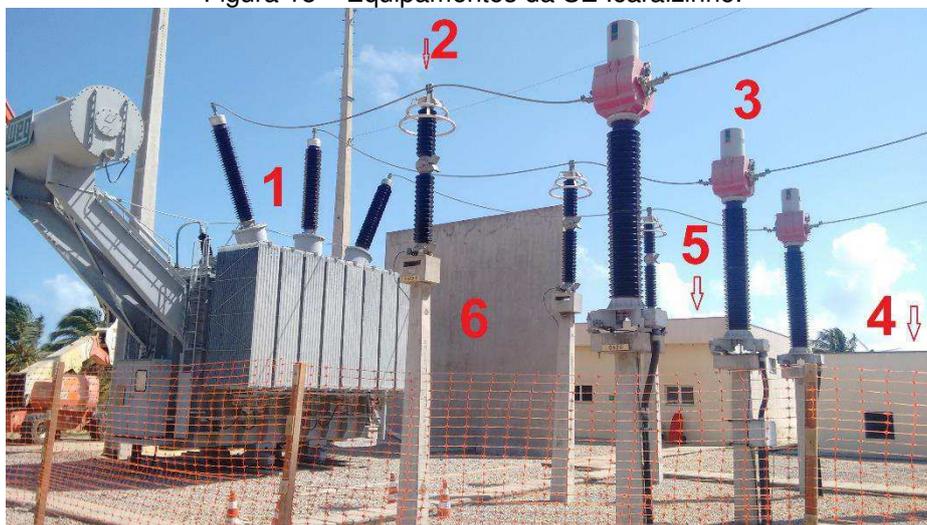
- Transformador de potência;

- Transformadores para instrumentos:
  - Transformador de potencial (TC);
  - Transformador de corrente (TP);
- Disjuntor;
- Chave seccionadora;
- Para-raios (PR);
- Isolador de pedestal (IP);
- Reatores e/ou capacitores para controle de potência reativa;
- Gerador de emergência.

Os equipamentos elétricos devem ser escolhidos de acordo com valores de tensão e/ou corrente nominal e nível básico de isolamento (NBI).

A título de ilustração, é apresentada na Figura 18 uma fotografia da subestação do Parque Eólico Icaraizinho, visitada durante a visita técnica. Na figura, podem ser vistos o transformador de potência (1), para-raios (2) e transformadores de corrente (3). Ao fundo, estão o abrigo do gerador de emergência (4), à direita, e a casa de comando (5), protegida de uma eventual falha catastrófica do transformador por uma parede corta-fogo (6).

Figura 18 – Equipamentos da SE Icaraizinho.



Fonte: O próprio autor.

### 3.5.2. Etapas da construção de uma subestação

A subestação pode ser dividida em um setor de potência, no qual os equipamentos do circuito de potência serão instalados, e um setor de comando,

constituído da casa de comando na qual estão abrigados os relés, painéis e mostradores de comando, medição, faturamento e proteção.

A casa de comando de uma subestação típica possui um banco de baterias alimentado por retificador, que fornece a tensão contínua utilizada para o acionamento dos dispositivos de comando. O objetivo do emprego de corrente contínua é garantir a continuidade da operação, comunicação e capacidade de manobra dos equipamentos em caso de falhas na alimentação auxiliar CA da casa de comando (DIAS; KARASINSKI, 2003, p. 1).

A construção de uma subestação pode ser dividida em etapas civil e eletromecânica. As principais atividades da etapa civil são:

- Preparação e terraplenagem do terreno que acomodará a futura subestação;
- Construção de mureta de proteção que delimitará a instalação;
- Construção das fundações dos postes equipamentos;
- Implantação dos pórticos e pedestais;
- Escavação de valas para a malha de aterramento e construção das canaletas para os circuitos de comando;
- Construção do prédio da casa de comando.

A etapa eletromecânica consiste em:

- Montagem das ferragens e isoladores;
- Montagem dos equipamentos elétricos;
- Fixação dos cabos condutores e implantação da malha de aterramento;
- Instalação dos cabos de comando e medição nas canaletas, desde os equipamentos correspondentes até a casa de comando;
- Montagem dos painéis e circuitos da casa de comando.
- Montagem dos circuitos de serviços auxiliares CA/CC.
- Instalação do banco de baterias e seu circuito.

Neste capítulo, foram condensados conhecimentos e conceitos consolidados ou adquiridos acerca do projeto e etapas de construção de LTs aéreas e principais etapas de construção de subestações ao ar livre. No próximo capítulo, são detalhadas as atividades desenvolvidas pelo estagiário na empresa.

## 4. ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

### 4.1. ORÇAMENTAÇÃO E GESTÃO DE PROJETOS

A maior parte do estágio foi realizada na sede da Energy, no setor de planejamento e cotação de projetos. Assim, as principais atividades desenvolvidas se deram no âmbito da orçamentação de projetos de construção de linhas de transmissão e redes de média tensão. Um relatório diário das atividades realizadas pode ser verificado no Apêndice A – Registro de Atividades.

#### 4.1.1. Elaboração de proposta de execução de obra

A cotação ou orçamentação de um projeto de execução de obra consiste em apresentar uma proposta de execução da obra ao cliente em potencial. Nela, são detalhados os serviços e materiais a serem fornecidos, com os respectivos preços totais. Geralmente são anexadas uma ou mais planilhas com detalhamento da composição de preços: as planilhas de preço unitário, que contém uma lista do material e serviços fornecidos, juntamente com as respectivas quantidades, preços relativos e o valor total da proposta.

Outro elemento que pode estar presente em uma proposta de execução de obra é a matriz de responsabilidades. A matriz de responsabilidades é uma planilha que especifica quais das atividades desenvolvidas deverão ser realizadas pela empresa contratante e quais devem estar a cargo da contratada.

O orçamento é, na verdade, uma estimativa do custo envolvido na execução do projeto. Para sua confecção, é necessário levar em consideração diversos fatores, que podem ou não ser confirmados durante a gestão do projeto.

A gestão de um projeto deve levar em conta diferentes elementos:

- Mão de obra: número de funcionários, tipo e nível de qualificação;
- Equipamentos: caminhões, tratores, escavadeiras etc;
- Materiais e ferramentas.

No caso do elemento mão de obra, por exemplo, deve se levar em conta não somente os gastos com a remuneração dos colaboradores, mas também com acomodação, alimentação e transporte. A necessidade de transporte acarreta na imposição de se definir meios de transporte e estimar gastos com combustível.

A realização precisa da cotação é essencial à eficiência das atividades de uma empresa de execução de obras. Um orçamento o mais preciso possível deve garantir, ao mesmo tempo, confiabilidade - o orçamento apresentado deve ser o mais próximo possível do realizado - e competitividade de preços.

Existe um processo de negociação permanente entre as partes envolvidas na proposta de execução, em torno de questões que muitas vezes não são de natureza estritamente técnica. Acessibilidade, precisão com a qual a localidade e o terreno foram descritos e até mesmo a organização de sindicatos locais são fatores que podem interferir no custo final da obra. Aditivos são garantidos somente no caso de se constatar que existem variáveis que não foram informadas ou eram desconhecidas na ocasião da cotação.

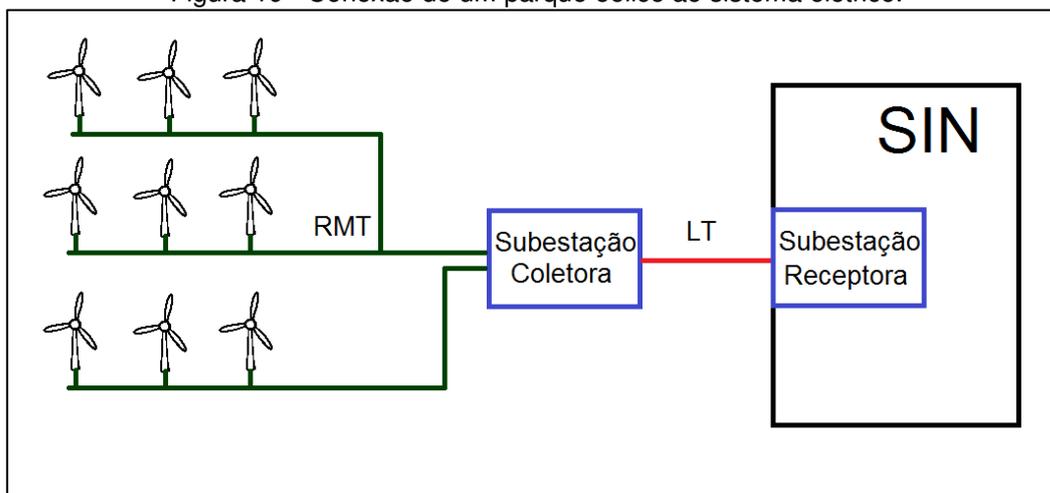
#### 4.1.2. Cotações para centrais geradoras

Durante o período de realização do estágio, foram recebidas diversas propostas de execução de obras para parques eólicos (PEs) e usinas fotovoltaicas (UFVs).

Parques eólicos e usinas fotovoltaicas, assim como os complexos geradores de energia convencionais, operam em baixa ou média tensão, sendo necessária uma etapa elevadora antes da transmissão de energia. A principal diferença em termos de configuração em relação a plantas convencionais é o fato de os elementos geradores eólico e fotovoltaico encontram-se distribuídos por uma área relativamente grande. Assim, é necessária a implantação de uma RMT que conecte todos os elementos geradores.

Um esquema típico de complexo gerador de energia eólica pode ser visto na Figura 19.

Figura 19 - Conexão de um parque eólico ao sistema elétrico.



Fonte: O próprio autor.

No diagrama da Figura 19, é necessário salientar que, geralmente, o nível de tensão do gerador em si é baixo, da ordem de 660 V em um aerogerador típico empregado atualmente. Assim, para a saída da energia produzida, cada aerogerador possui um transformador elevador, abrigado dentro da própria nacelle ou externo, em uma subestação denominada SE unitária.

As saídas dos transformadores elevadores individuais são interligadas por uma RMT, usualmente de 34,5 kV, que aparece na Figura 19 em verde, e conecta o parque eólico à subestação coletora. Na SE coletora, o nível de tensão é elevado de forma a realizar a transmissão de forma eficiente e acoplar o parque eólico ao SIN por meio da conexão à subestação receptora, já existente. A conexão de uma central fotovoltaica ao SIN é realizada de forma análoga.

As principais cotações realizadas foram referentes à construção de RMTs e LTs. A cotação pode ser dividida em duas subtarefas: **quantificar** os materiais e serviços a serem realizados e em pesquisar e definir **preços unitários** para os mesmos.

Os pedidos de cotação recebidos continham diferentes níveis de detalhamento. Em determinados pedidos de cotação, todos ou a maior parte dos materiais estavam quantificados enquanto que, em outros pedidos, a estimativa de material necessário foi realizada com base no estudo da especificação técnica e outros documentos do projeto fornecido. Uma especificação técnica é um documento que contém informações do projeto relativas ao dimensionamento das estruturas, tipos de cabos condutores, isoladores, aterramento e distâncias

de segurança. Em geral, diagramas e plantas baixas são anexados à especificação técnica.

Ainda em outros pedidos de orçamento, apenas informações básicas – como nível de tensão e comprimento da RMT ou LT – foram fornecidas, de forma que foi necessário tecer considerações a respeito do projeto, tipos de fundações, estruturas e cabos condutores para fornecer um orçamento preliminar.

As principais variáveis a serem determinadas durante o orçamento de uma RMT ou LT aérea são:

- Área de desmatamento da faixa de servidão, em m<sup>2</sup>;
- Volumes de escavação e concreto necessários à construção das fundações das estruturas, em m<sup>3</sup>;
- Quantidade de aço para o concreto armado das fundações, em ton;
- Quantidades de cabo condutor e cabo de aterramento, em ton;
- Número e tipos de isoladores.

Durante a realização das tarefas, foi constatado que preços unitários (por exemplo, preço por kg, por m<sup>3</sup>, ou unidade) não eram facilmente acessíveis, sendo necessário realizar consultas regulares em documentos do setor de almoxarifado ou da contabilidade.

Em alguns pedidos de orçamento, foram enviados desenhos do perfil e traçado da LT. Em suma, qualquer documento ou especificação que possa fornecer informações adicionais sobre o relevo, topografia e características do solo no local previsto para a implantação da LT auxilia na realização de uma cotação mais realista.

Uma forma de avaliar o preço estimado para uma RMT ou LT é calculando o preço total por quilômetro, de acordo com a Equação 2:

$$P = \frac{\text{Custo total da obra}}{\text{Comprimento da linha}} \quad (2)$$

Em geral, o custo por quilômetro diminui com o aumento do comprimento da LT. A diminuição do custo relativo se deve ao fato do orçamento levar em consideração não somente os custos com materiais e serviços de montagem, os quais são aproximadamente proporcionais ao comprimento da LT, mas também os custos fixos da obra. Custos fixos são aqueles que não dependem

diretamente da extensão da LT: custos de mobilização, desmobilização, manutenção do canteiro de obra e despesas administrativas. Assim, com o aumento do comprimento, os custos fixos passam a representar uma fração menor do custo total.

#### 4.1.3. Estudos da especificação técnica de uma RMT subterrânea

Outra atividade realizada foi a realização de estudos de especificação técnica visando a orçamentação de uma RMT subterrânea para um condomínio industrial na região metropolitana de Recife. O condomínio industrial está em fase de instalação, e atualmente é alimentado por uma rede aérea de média tensão (RAMT) de 13,8 kV da concessionária local. Foi planejada a construção de uma SE 69/13,8 kV exclusiva para o atendimento do condomínio.

A RMT a ser instalada consiste em cabos condutores isolados lançados em dutos enterrados no solo. A área de seção dos condutores é 95, 150 ou 240 mm<sup>2</sup>, dependendo do trecho da rede. A especificação técnica prevê a instalação de caixas de passagem a cada 80 m, em média, e sempre que o traçado da rede subterrânea apresentar uma curva, e também a instalação de hastes de aterramento ao longo do traçado da rede, a intervalos regulares.

O projeto também prevê a instalação de elementos de sinalização, com a finalidade de proteger o banco de dutos contra a ocorrência de escavações no futuro. Os elementos de sinalização são marcos de concreto implantados no solo, fitas de PVC enterradas a uma profundidade de 50 cm e placas de concreto enterradas abaixo das faixas. O objetivo dos elementos é, em uma eventual escavação futura no local, indicar a existência de uma estrutura elétrica enterrada.

Assim, os arquivos do projeto foram analisados com o objetivo de quantificar os materiais necessários. Foram calculados, a partir dos diagramas e do documento de especificação técnica:

- Comprimento total da RMT subterrânea;
- Volume de escavação estimado;
- Comprimento total dos dutos necessários;
- Número de caixas de passagens;

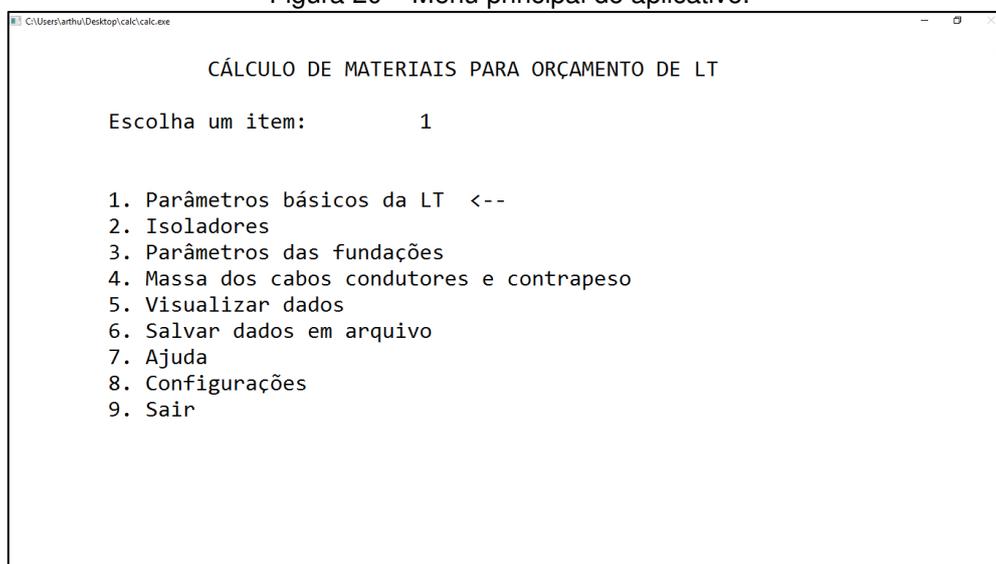
- Comprimento total de cabos condutores e de aterramento;
- Número de hastes de aterramento;
- Quantidade de material para sinalização da rede.

## 4.2. DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVO DE CÁLCULO DE MATERIAIS PARA ORÇAMENTAÇÃO DE LTs

Durante as atividades de orçamento de projetos de LT, foi constatada a necessidade de se definir procedimentos padronizados para a realização da orçamentação, de forma a racionalizar e aumentar a eficiência de execução das tarefas.

Assim, com o objetivo de auxiliar o processo de cálculo de materiais nos casos em que as quantidades não eram especificadas no pedido de cotação, foi desenvolvido um programa em linguagem C++ que recebe valores de parâmetros básicos e realiza a quantificação dos principais materiais. Uma imagem do menu inicial do aplicativo pode ser vista na Figura 20:

Figura 20 – Menu principal do aplicativo.



Fonte: O próprio autor.

O desenvolvimento do programa começou no dia 25/11, visando calcular o volume de fundações para torres. Paulatinamente, foram acrescentadas novas funções e realizados aperfeiçoamentos, de modo que, em sua última versão, o programa é capaz de retornar os seguintes quantitativos:

- Área da faixa de servidão;
- Volumes de escavação e concreto para fundações;
- Massa do aço para o concreto armado das fundações;
- Quantidade de isoladores para suspensão e ancoragem;
- Comprimento e massa de cabos condutores e aterramento.

Na Figura 21, pode ser vista uma captura de tela do menu do item 1, no qual são solicitados do usuário parâmetros básicos da LT.

Figura 21 – Menu do item 1: parâmetros básicos da LT.

```

C:\Users\arthur\Desktop\calc\calc.exe
PARÂMETROS BÁSICOS DA LT

Entre com:      (ou pressione [Esc] para retornar)

Nome da LT:      <--

Nível de tensão da LT (kV):
Comprimento da LT, em km:
Largura da faixa de servidão, em metros:
As estruturas serão de aço (1), concreto (2) ou ambos (3)?
Quantidade de circuitos:      1
Quantidade de condutores por fase:      1
Quantidade de cabos para-raios:
Quantidade de cabos OPGW:
  
```

Fonte: O próprio autor.

No item 2 – Isoladores –, são solicitadas informações acerca do material e quantidade de isoladores. O submenu inicial do item 2 é mostrado na captura de tela da Figura 22.

Figura 22 – Submenu do item 2: Isoladores.

```

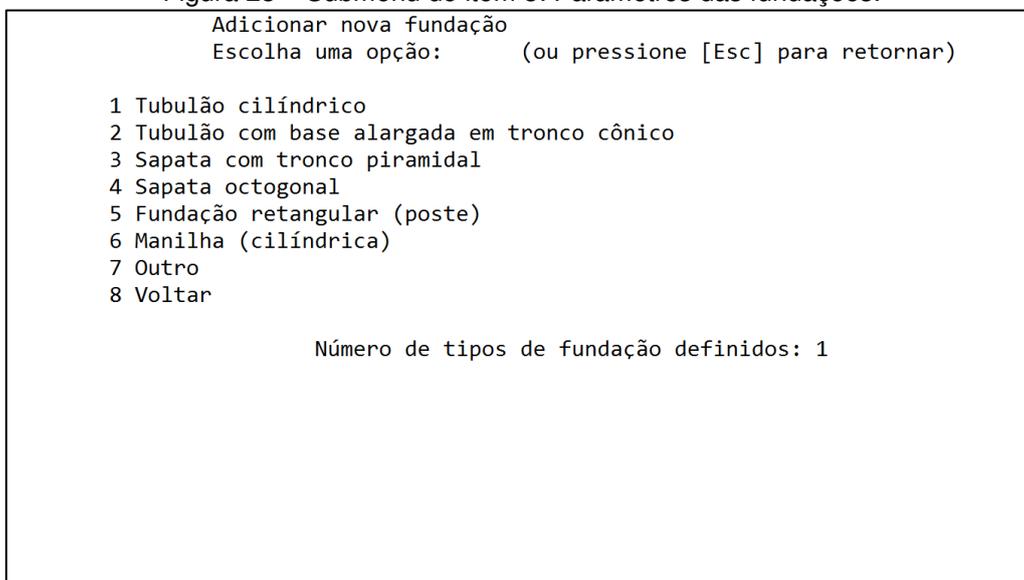
C:\Users\arthur\Desktop\calc\calc.exe
QUANTIFICAÇÃO DOS CONJUNTOS DE ISOLADORES DA LT

Os isoladores serão de porcelana (1), vidro (2) ou poliméricos (3)? (ou outro
valor para não definir)      <--
Quantidade de conjuntos para ancoragem (1 ou 2):
Haverá isoladores jumper para ancoragem? (0: não | 1: sim)
  
```

Fonte: O próprio autor.

No item 3 – Parâmetros das fundações –, é possível calcular volumes de escavação, reaterro, concreto e/ou massa de aço para o concreto armado em diferentes tipos de fundação. Os tipos de fundação especificados podem ser vistos na captura de tela mostrada na Figura 23.

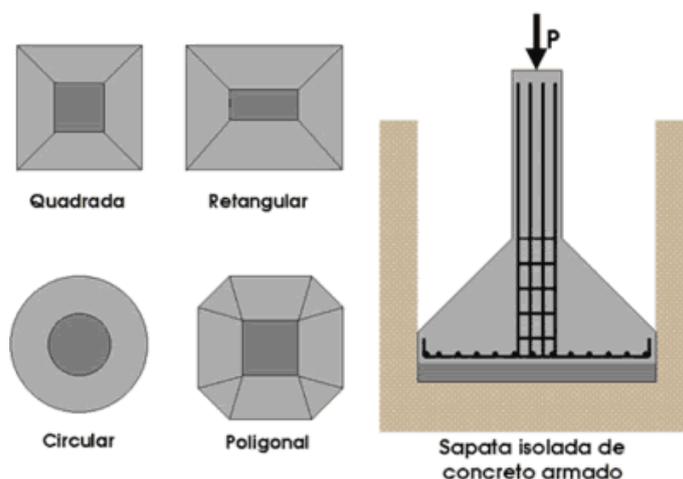
Figura 23 – Submenu do item 3: Parâmetros das fundações.



Fonte: O próprio autor.

Na Figura 24, são apresentadas, a título de ilustração, diferentes geometrias de fundação tipo sapata, correspondentes aos tipos de fundação 2, 3 e 4 do submenu mostrado na Figura 23.

Figura 24 – Tipos de fundações.



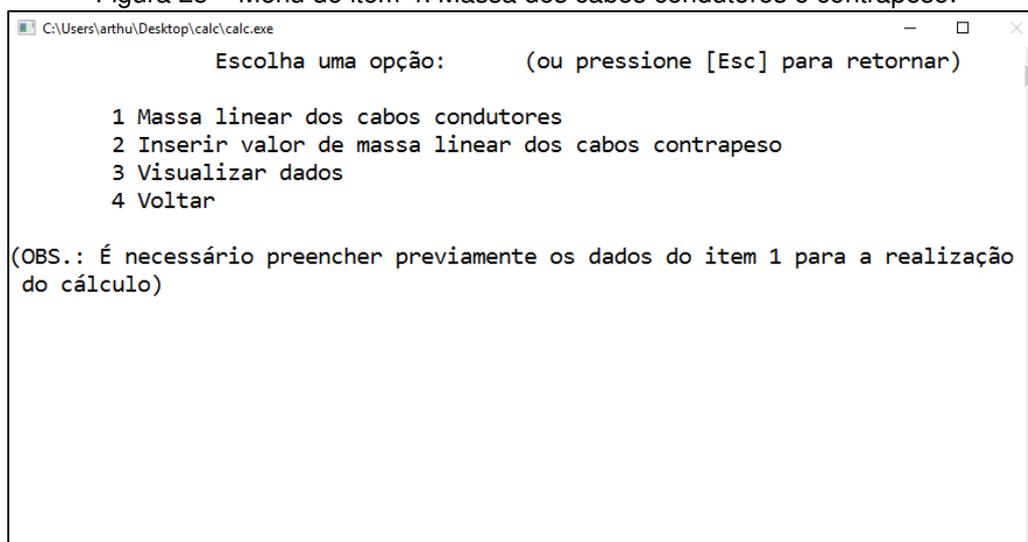
Fonte: UEPG, 2016.

A partir de dados fornecidos pelo usuário, os valores de volume de escavação, concreto, reaterro e aço para a armação podem ser obtidos por meio

de fórmulas baseadas nas formas geométricas, que foram inseridas no código do programa.

O objetivo do item 4 do menu principal é possibilitar ao usuário o fornecimento de valores de massa linear dos cabos condutores e dos cabos contrapeso, de modo a, a partir dos comprimentos fornecidos nos outros itens, obter os valores totais da massa dos cabos. Uma captura de tela do menu do item 4 pode ser vista na Figura 25.

Figura 25 – Menu do item 4: Massa dos cabos condutores e contrapeso.



Fonte: O próprio autor.

O programa fornece opções de exibir os resultados e também de salvá-los como um arquivo em formato *.txt*.

Já em 28/11, uma versão inicial do aplicativo foi utilizada para verificar cálculos realizados na cotação da UFV São Pedro. Na ocasião da conclusão do estágio, o código em C++ continha, somando todos os arquivos fonte, cerca de 2100 linhas. Um exemplo de relatório produzido pelo programa pode ser visto no Apêndice B.

Neste capítulo, foram descritas as principais atividades desenvolvidas pelo estagiário na sede da empresa. Atividades de cotação, quantificação de materiais, projeto e estudo de especificações técnicas foram abordadas, bem como o desenvolvimento de um aplicativo em C++ para auxiliar a realização das atividades. No próximo capítulo, é fornecida uma descrição das obras acompanhadas a partir dos dados coletados nas visitas técnicas.

## 5. VISITAS TÉCNICAS

Entre os dias 9 e 20 de janeiro, foram realizadas visitas técnicas às obras da Energy nos municípios de Icapuí e Amontada, ambos no Ceará. O objetivo das visitas foi acompanhar o andamento das atividades, em conjunto com o engenheiro supervisor contratado pela Energy, além de realizar a entrega de alguns materiais. No mapa da Figura 26, pode ser verificada a localização da sede das obras que foram visitadas.

Figura 26 – Localização das obras da Energy no Ceará.



Fonte: O próprio autor.

### 5.1. COMPLEXO EÓLICO SANTO INÁCIO

No Complexo Eólico Santo Inácio (CESI), é prevista a instalação de 47 aerogeradores com capacidade instalada de 2,1 MW cada, totalizando 98,7 MW de capacidade instalada do complexo. Os aerogeradores serão conectados à SE Coletora Santo Inácio por uma rede coletora de 34,5 kV, a qual é em sua maior parte subterrânea mas contém também um trecho aéreo. Uma fotografia de um trecho do complexo eólico é apresentada na Figura 27. Nela, pode ser vista uma das estradas de acesso ao complexo e alguns aerogeradores já construídos.

Figura 27 - Parque eólico em construção.

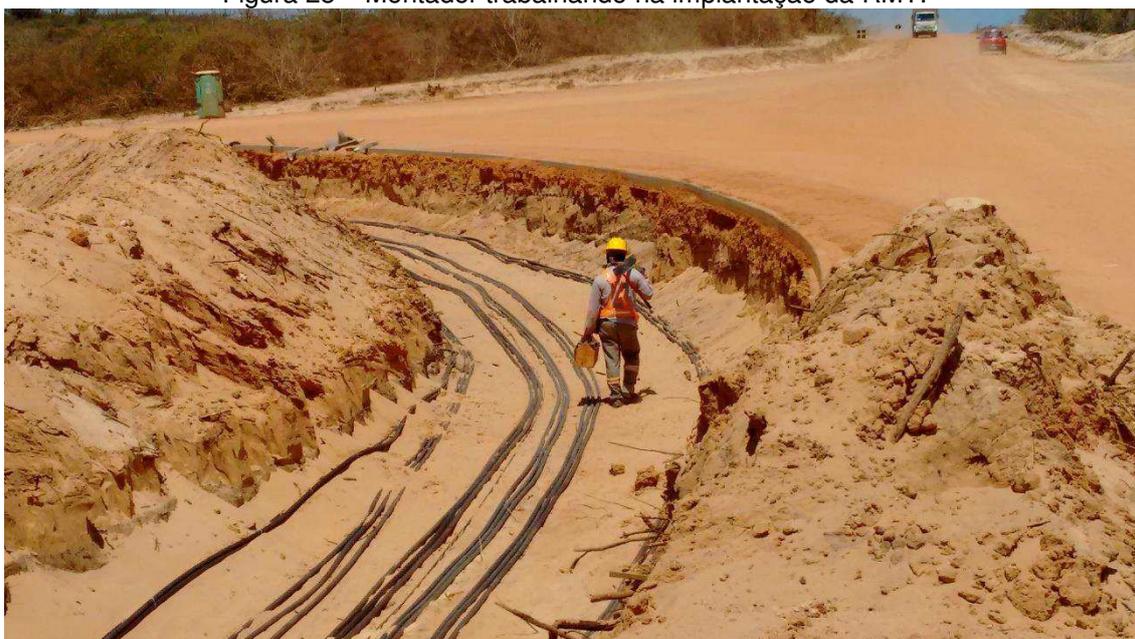


Fonte: O próprio autor.

As tarefas delegadas à Energy na construção do CESI foram: a implantação da RMT, construção civil e montagem dos equipamentos elétricos do bay da SE Santo Inácio, bem como a montagem dos painéis da casa de comando, a construção da LT e do bay de recepção na SE Mossoró IV.

Nas Figuras 28 e 29, são apresentadas fotografias dos cabos isolados lançados nas valas, organizados em trifólio. Um trifólio é um grupo de três cabos que constitui um circuito trifásico.

Figura 28 – Montador trabalhando na implantação da RMT.



Fonte: O próprio autor.

Figura 29 – Trecho da RMT subterrânea em construção.



Fonte: O próprio autor.

Uma inspeção da Figura 29 permite visualizar o condutor de aterramento lançado paralelamente aos cabos isolados. Na fotografia da Figura 30, é mostrado um trecho da rede já coberta pelo reaterro, no qual pode-se observar os marcos de sinalização, que são cilindros de concreto implantados ao longo do percurso, com um espaçamento regular, para indicar a existência da RMT.

Figura 30 – Marcos de sinalização.



Fonte: O próprio autor.

O condutor empregado na RMT subterrânea é um cabo de alumínio isolado, projetado para tensão fase-fase de 35 kV, com revestimento externo em EPR. Sua seção transversal pode ser vista na fotografia da Figura 31.

Figura 31 - Cabo isolado utilizado na RMT subterrânea.

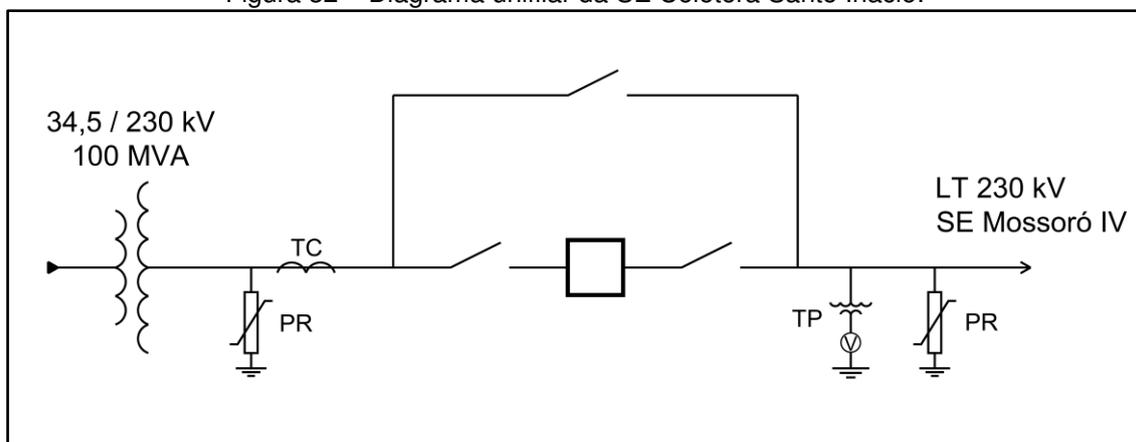


Fonte: O próprio autor.

A SE Coletora Santo Inácio consiste em um transformador elevador 34,5/230 kV de 100 MVA, junto com os devidos equipamentos de medição, proteção e seccionamento: para-raios, TCs, TPs disjuntores e chaves seccionadoras. Ela será conectada por meio de uma LT 230 kV à SE Mossoró IV, em Mossoró - RN, interligando assim o parque eólico ao SIN.

O circuito da SE é representado no diagrama unifilar da Figura 32, elaborado pelo aluno.

Figura 32 – Diagrama unifilar da SE Coletora Santo Inácio.



Fonte: O próprio autor.

A montagem da SE Santo Inácio encontrava-se em estágio avançado na ocasião da visita, estando pendentes apenas a conexão de alguns cabos condutores, montagem do transformador e a conclusão da instalação dos painéis da casa de comando. Fotografias da subestação podem ser vistas na Figura 33.

Figura 33 – SE Santo Inácio



(a)



(b)

Fonte: O próprio autor.

Nas fotografias da Figura 33, o *bay* da subestação pode ser visto de duas perspectivas diferentes. Na Figura 33b, é possível observar um abrigo para equipamentos de proteção contra incêndio, ao centro e pintado de vermelho, e a casa de comando ao fundo. Na fotografia da Figura 34, podem ser vistos os cabos de comando recém instalados nas canaletas.

Figura 34 – Cabos de comando da SE expostos.



Fonte: O próprio autor.

Na Figura 35, é apresentada uma fotografia do trecho de entrada da RMT subterrânea na subestação. Nela, é possível ver a chamada escolta de reserva, que consiste em um trecho de cada cabo que é enrolado e armazenado em uma caixa de alvenaria. O objetivo da escolta de reserva é garantir um comprimento adicional aos cabos, de modo que seja possível realizar uma pequena expansão do percurso ou aparar as extremidades do cabo sem necessidade de realizar emendas ou até mesmo substituir o cabo completo, o que seria excessivamente oneroso.

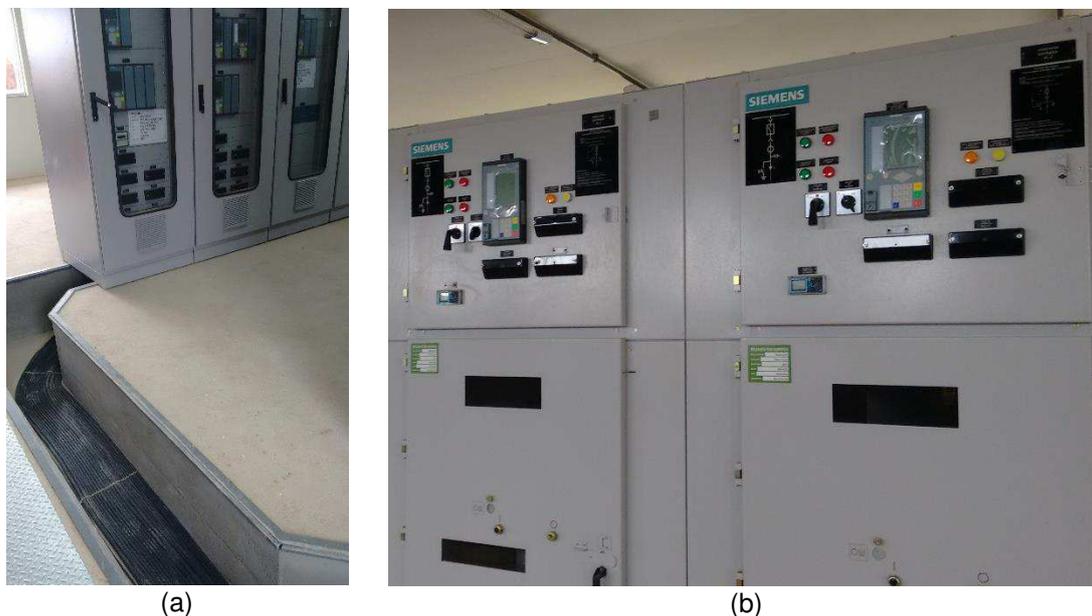
Figura 35 – Entrada da RMT subterrânea na subestação.



Fonte: O próprio autor.

Na Figura 36, podem ser vistas fotografias da casa de comando, que se encontrava em processo de montagem durante a visita: dos cabos de comando que conectam os equipamentos aos painéis (a) e de alguns dos painéis existentes (b).

Figura 36 – Casa de comando da SE Santo Inácio.



Fonte: O próprio autor.

A LT em construção possuirá um comprimento de aproximadamente 8,6 km e terá como apoios 12 estruturas de aço no trecho contíguo à SE Coletora e 11 estruturas de concreto no trecho final. O motivo apresentado para o emprego de estruturas de concreto apenas em um trecho foi uma restrição de espaço imposta pelo proprietário do terreno do trecho final da faixa de servidão.

Durante o acompanhamento da obra, a construção da LT estava na etapa de abertura da faixa de servidão e início da construção das fundações das primeiras estruturas. A abertura da faixa se iniciou a partir da SE Coletora.

Para a construção da LT, é necessária a realização de poda e supressão da vegetação existente ao longo do percurso e principalmente no local de implantação das estruturas. Contudo, o desmatamento não pode ser feito de forma desordenada. Antes, ele deve ser regulamentado pelo órgão de fiscalização ambiental do estado ou o Ibama, no caso de a obra abranger mais de um estado, como é o caso do CESI, em que SE Coletora está situada no Ceará e a SE Receptora, no Rio Grande do Norte.

De forma a assegurar a obtenção da licença de instalação (LI), a área de desmatamento foi minimizada. A largura da faixa foi restrita a 4 m, exceto nas

praças das torres, onde o desmatamento ocorre em uma área quadrada com 30 m de largura. O avanço das atividades foi registrado e pode ser visto nas fotografias da Figura 37.

Figura 37 – Abertura da faixa de servidão.



(a)



(b)



(c)

Fonte: O próprio autor.

As fotografias das Figuras 37a e 37b foram tiradas nos dias 11 e 16 de janeiro, respectivamente. A comparação entre elas permite constatar o avanço na supressão da vegetação. No local onde se encontravam os trabalhadores nas fotografias das Figuras 37b e 37c será implantada a primeira torre, de acordo com os marcos indicados na fotografia da Figura 37c. A estaca no centro corresponde ao centro geométrico da torre. As demais são as locações das bases da estrutura.

Concomitantemente à limpeza da faixa de servidão, as armações de aço para as fundações estavam sendo montadas e os materiais para a montagem das torres de aço chegaram ao canteiro e começaram a ser organizados. Fotografias podem ser vistas na Figura 38.

Figura 38 - Armação de aço para fundação e peças para as torres da LT.



(a)



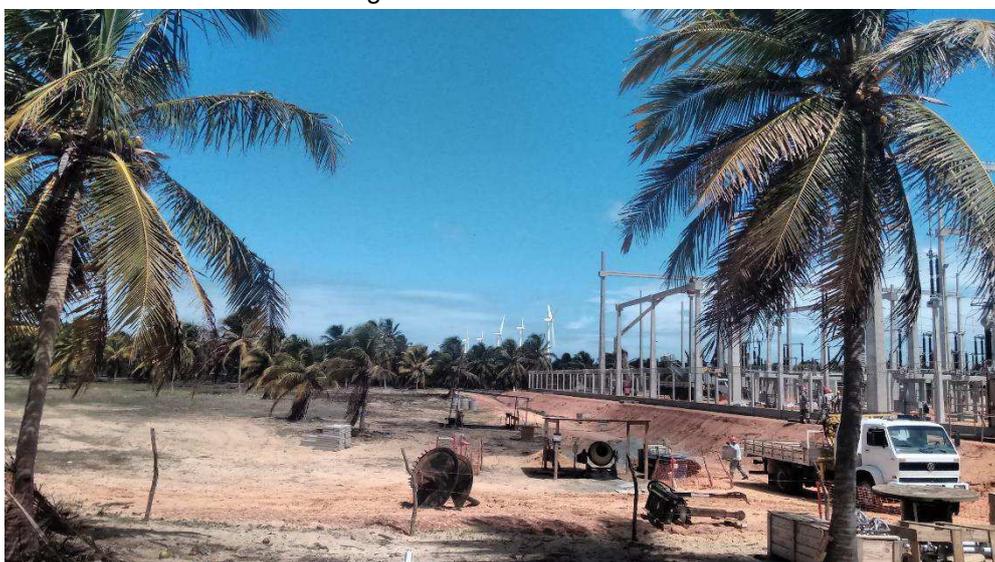
(b)

Fonte: O próprio autor.

## 5.2. SE ICARAZINHO

A subestação Icaraizinho, situada no município de Amontada – CE, é uma SE coletora 34,5/230 kV que atualmente atende ao parque eólico Icaraizinho, em funcionamento há cerca de 9 anos. O parque eólico é composto por 26 aerogeradores com potência nominal de 2,1 MW cada, totalizando 54,6 MW de capacidade instalada. O transformador elevador da subestação tem potência nominal de 60 MVA em regime ONAF (óleo natural, ar forçado). Fotografias da subestação podem ser vistas na Figura 39.

Figura 39 – SE Icaraizinho.



(a)



(b)

Fonte: O próprio autor.

Na fotografia da Figura 39a, é possível observar alguns aerogeradores ao fundo e o *bay* em construção à direita. Na fotografia da Figura 39b foram retratados a subestação, ao fundo, e caminhões e materiais do canteiro.

A obra da Energy em Icaraizinho consiste na ampliação da subestação, com a construção de um *bay* de passagem por meio do qual uma LT 230 kV proveniente do parque eólico Pedra Cheirosa, em construção, será conectada ao sistema. Também foi prevista a troca de alguns equipamentos e a instalação de um conjunto de chaves e disjuntor junto ao transformador da SE no setor já existente. A construção da nova LT 230 kV está fora do escopo da Energy.

As etapas da obra realizadas até a ocasião da visita técnica foram: terraplenagem e preparação do terreno, remoção da mureta lateral da SE existente, escavação, construção das fundações e implantações das estruturas para os pórticos e bases de novos equipamentos. Também foram feitas escavações da malha de aterramento existente, de modo a interligá-la à malha do novo setor.

O *bay* em construção e o já existente podem ser vistos na fotografia da Figura 40, na qual o *bay* já existente encontra-se à esquerda.

Figura 40 – *Bay* em construção na SE Icaraizinho.



Fonte: O próprio autor.

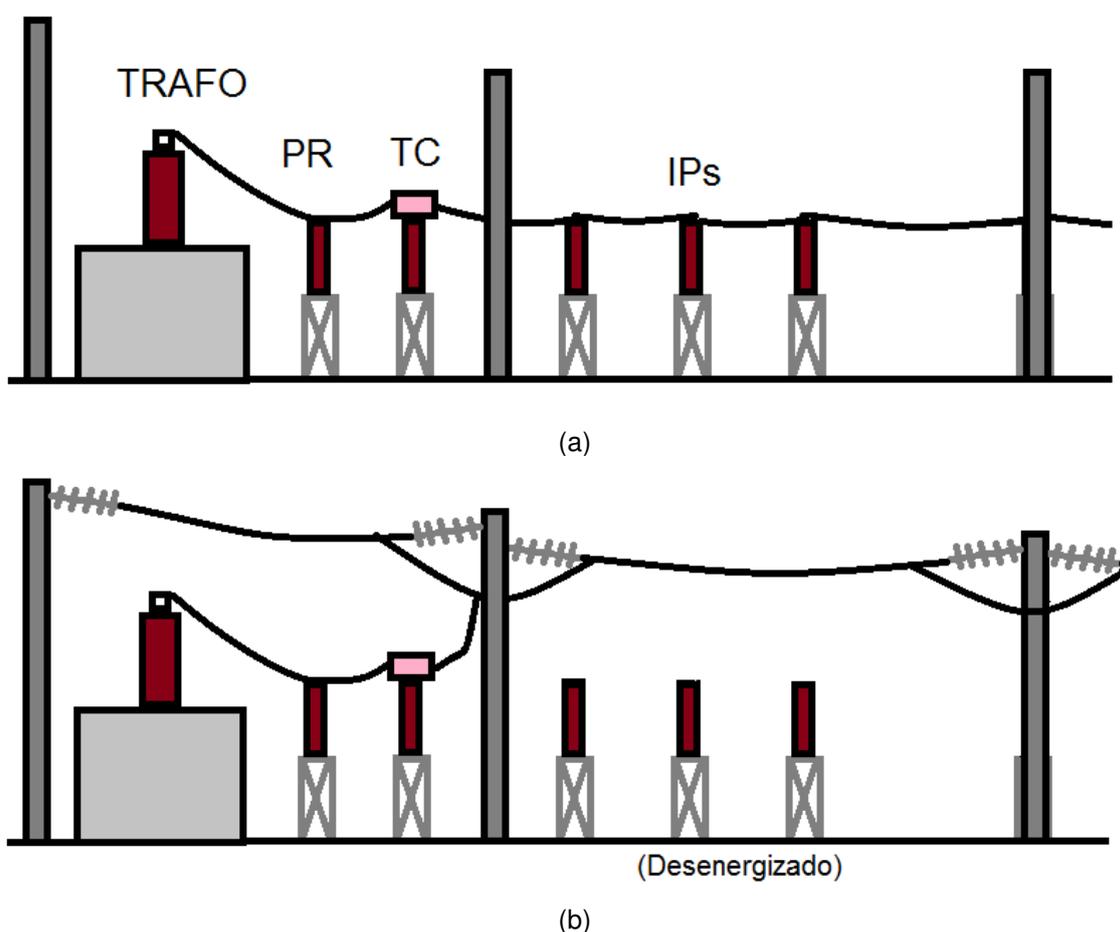
Na fotografia da Figura 40 pode-se verificar, ainda, a existência de uma mureta de proteção separando o *bay* em construção e o existente, que deve permanecer energizado durante a quase totalidade do tempo de execução da obra, de modo a possibilitar o escoamento da energia gerada pelo parque.

Entretanto, de modo a realizar a ampliação e modificação da configuração original da SE, o desligamento total ou parcial da subestação se faz necessário em algumas ocasiões. Os desligamentos ocorrem em dia e horário predeterminados, indicados pelo ONS.

Assim, os objetivos da visita à obra em Icaraizinho foram a entrega de EPIs, ferragens e aparelhos de rádio para a obra, além de auxiliar na preparação e acompanhamento do desligamento que ocorreria naquela semana.

A modificação programada para o desligamento consistiu na desconexão do trecho adjacente ao transformador no *bay* existente, com o objetivo de implantar na parte superior dos pórticos um desvio conectado diretamente aos TCs do transformador. A instalação do desvio permitiu o prosseguimento seguro das atividades durante as próximas semanas, sem prejuízo à geração do parque eólico, e tornou possível a substituição dos IPs existentes por um conjunto de seccionamento chave - disjuntor - chave. O procedimento é esquematizado nos desenhos da Figura 41.

Figura 41 – Configuração do *bay* antes (a) e após (b) a instalação do desvio.



Fonte: O próprio autor.

A principal atividade realizada antes do desligamento foi a instalação de barramentos entre os pórticos do novo bay. A instalação consiste no corte dos cabos condutores em comprimento adequado, fixação dos cabos nos isoladores e fixação dos isoladores no pórtico. As etapas da atividade podem ser vistas nas fotografias da Figura 42.

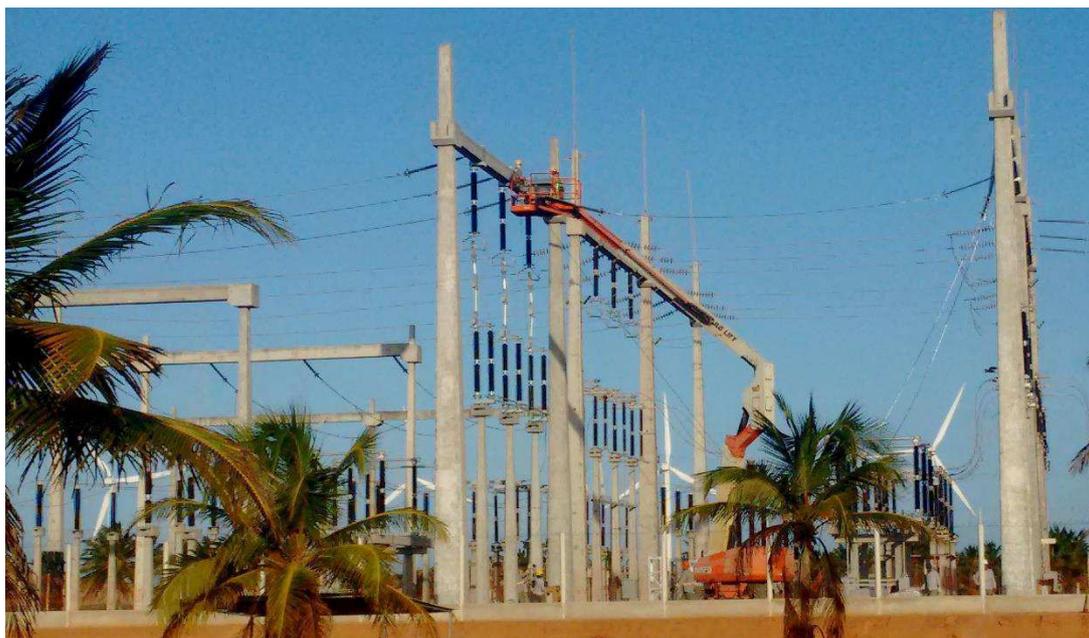
Figura 42 – Etapas da montagem dos barramentos superiores do novo bay.



(a)



(b)



(c)

Fonte: O próprio autor.

Nas fotografias da Figura 42a e 42b, pode ser visto o processo de içamento do isolador com o cabo condutor. No momento em que a fotografia da Figura 40c foi tirada, o barramento da parte de trás do *bay* já havia sido implantado, e a primeira fase do barramento frontal estava sendo fixada.

No dia 14 de janeiro, no horário pré-determinado de 6h, funcionários da companhia proprietária do parque iniciaram as manobras de desligamento e aterramento dos equipamentos da SE. Os aerogeradores foram desligados e a LT foi seccionada na SE receptora Massapê, de modo que a SE Icarazinho ficou totalmente desligada. As máquinas utilizadas foram o caminhão *munck* e a plataforma elevatória (PLT). A entrega da subestação foi realizada próximo das 19h. Fotografias das atividades realizadas durante o desligamento podem ser vistas nas Figuras 43 e 44.

Figura 43 – Desmontagem do barramento existente.

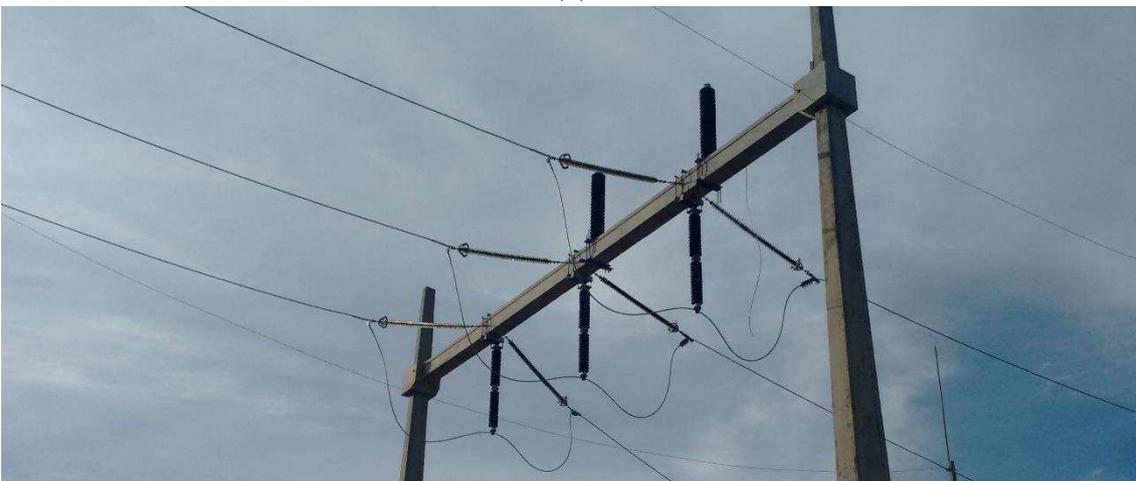


Fonte: O próprio autor.

Figura 44 – Etapas da instalação do desvio no pórtico superior.



(a)



(b)

Fonte: O próprio autor.

Na fotografia da Figura 43, pode ser vista a retirada dos cabos condutores dos IPs, à esquerda. Nas fotografias da Figura 44, é possível visualizar a instalação dos isoladores para implantação do desvio provisório. Posteriormente, quando a reforma e instalação de novos equipamentos no chão do *bay* tiver sido concluída, o desvio será desfeito. A operação deve ocorrer em um próximo desligamento.

Dificuldades na obtenção do acesso à rede da concessionária tornaram sua utilização inviável, considerando os tempos e prazos definidos para início, duração e conclusão da obra, com a consequente desmobilização. Assim, verificou-se ser impraticável aguardar o tempo necessário à conexão do canteiro de obras, tendo sido locado um gerador Diesel de 55 kVA para o fornecimento de energia do canteiro, que pode ser visto na fotografia da Figura 45.

Figura 45 – Gerador para suprimento de energia do canteiro de obras.



Fonte: O próprio autor.

Devido à sua localização, próxima da praia, os equipamentos da SE sofrem os efeitos da maresia. Assim, de modo a evitar o acúmulo de poluição salina na superfície dos equipamentos e reduzir correntes de fuga e a incidência de corona, uma equipe da empresa proprietária da SE realiza a limpeza dos isoladores e invólucros dos equipamentos a cada 15 dias. Um caminhão tanque entra na subestação e lança um jato de água controlado no revestimento dos equipamentos. Uma fotografia do procedimento de limpeza pode ser vista na Figura 46.

Figura 46 – Limpeza dos invólucros de equipamentos da SE.



Fonte: O próprio autor.

Durante o acompanhamento das atividades das obras, tanto no CESI quanto na SE Icaraizinho, foi constatada a importância dada ao uso dos EPIs por todos os colaboradores. Uma fotografia de uma placa de aviso quanto ao uso dos EPIs pode ser vista na Figura 47.

Figura 47 – Placa de aviso quanto ao uso de EPIs.



Fonte: O próprio autor.

Além de acompanhar o andamento das tarefas, o estagiário participou da elaboração do relatório diário de obra (RDO). O RDO é um relato composto de textos curtos e fotografias por meio do qual são registradas as principais atividades desenvolvidas dia após dia na obra, número e função dos funcionários e eventuais ocorrências.

## 6. CONCLUSÕES

O presente relatório abordou tópicos pertinentes ao projeto físico, orçamentação e etapas de construção de linhas de transmissão aéreas, redes de distribuição e subestações ao ar livre.

O aluno realizou estudos de especificações técnicas, diagramas unifilares e projetos e especificações de fundações e estruturas, além de participar de tarefas de quantificação de materiais para a orçamentação.

Alguns pontos da atividade de orçamentação de projetos em que poderiam ser realizadas melhorias foram identificados. A principal atividade do aluno nesse sentido foi a elaboração de um aplicativo de cálculo de materiais, cujo objetivo é agilizar a obtenção de quantitativos da LT a partir de parâmetros básicos do projeto.

A possibilidade de ter adquirido experiência e realizado atividades tanto na sede quanto nas obras em andamento foi um aspecto muito positivo do estágio. Durante as visitas técnicas, o acompanhamento das atividades diárias e do desligamento realizado proporcionou uma percepção concreta da dimensão dos trabalhos envolvidos na execução de uma obra, dos contratempos existentes e das pressões a que os administradores locais são submetidos. Também foi possível comparar a perspectiva do projeto do ponto de vista da equipe de planejamento com a perspectiva dos administradores locais da obra.

O estágio é o momento em que o aluno confronta os conhecimentos adquiridos na faculdade com a dinâmica, práticas e atividades requeridas pela área de atuação da empresa. Sob esse aspecto, é possível afirmar que as atividades desenvolvidas tanto ratificaram como necessitaram dos conhecimentos adquiridos no decorrer do curso, sobretudo na disciplina Equipamentos Elétricos, na qual foram abordados tópicos sobre projeto e aspectos construtivos de LTs e SEs.

Tendo em vista o acréscimo de experiências e conciliação dos saberes teóricos e práticos obtidos pelo aluno, a conclusão é que os objetivos do estágio foram alcançados.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACL CABLES PLC. **ACSR & AAAC Conductors**. Disponível em: <<http://www.acl.lk/product/acsr-aaac-conductors>>. Acesso em: 3 fev. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5422/1985 – Projeto de Linhas Aéreas de Transmissão de Energia Elétrica**, 1985.

AZEVEDO, Crysthian Purcino Bernardes. **Avaliação da Confiabilidade de Fundações de Torres Estaiadas em Linhas de Transmissão**. 2007. 131 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Estruturas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

BALESTRO. **Isolador Polimérico de Distribuição**. 2015. Disponível em: <<http://www.balestro.ind.br/?p=2025>>. Acesso em: 9 fev. 2017.

BOLONHA, Rafael de Oliveira. **Fundações**. Disponível em: <[http://blog.construir.arq.br/fundacao\\_sapata/](http://blog.construir.arq.br/fundacao_sapata/)>. Acesso em: 01 fev. 2017.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética **Plano Decenal de Expansão de Energia**. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2015

CEPEL. Atlas do Potencial Eólico Brasileiro. Disponível em: <[http://www.cresesb.cepel.br/atlas\\_eolico\\_brasil/atlas.htm](http://www.cresesb.cepel.br/atlas_eolico_brasil/atlas.htm)>. Acesso em: 25 jan. 2017.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. **Especificação Padrão para Construção de Linhas de Transmissão 69 a 500 kV**. 2007. 102 p.

DIAS, Edson da Silva; KARASINSKI, Carlos Alberto. **Guia para Aplicação e Manutenção de Banco de Baterias**. 2003. 181 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Curitiba, 2003. Cap. 1.

ENERGY. **Energy Eletricidade - Portfólio**. Campina Grande, 2016. 16 slides, color.

FAW7. **Aterramento em Linha de Transmissão**. Disponível em: <<http://www.faw7.com.br/aterramento/aterramento-em-linha-de-transmissao>>. Acesso em: 2 fev. 2017.

FERREIRA, José Rui. Linhas de Transmissão. Porto, 2004. 37 slides, color. Disponível em: <<http://paginas.fe.up.pt/~mam/Linhas-01.pdf>>. Acesso em: 29 jan. 2017.

FIUZA, André Silva. **Relatório de Estágio Supervisionado**. 2015. 34 f. Relatório de Estágio - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2015.

GÖNEN, Turan. **Electrical Power Transmission System Engineering: Analysis and Design**. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2014. 1093 p.

INCOPOSTES. **Galeria de Fotos Transmissão**. Disponível em: <<http://www.incopostes.com.br/galeria-de-fotos-transmissao.html>>. Acesso em: 31 jan. 2017.

KIMBARK, Edward Wilson. **Direct Current Transmission**. Portland: John Wiley & Sons, 1971. 508 p.

LABEGALINI, Paulo Roberto et al. **Projetos Mecânicos das Linhas Aéreas de Transmissão**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1992. 528 p.

MARAN, Maycon Aurélio. Isoladores Vítreos. In: NORA DIAZ MORA (Org.). **Materiais Elétricos: Compêndio de Trabalhos**. Foz do Iguaçu. 2010. v. 1. p. 3.

MENEZES, Victor Prangiel. **Linhas de Transmissão de Energia Elétrica: Aspectos Técnicos, Orçamentários e Construtivos**. 2015. 77 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

MONTEIRO, Paulo Roberto Duailibe. **Subestações: Tipos, Equipamentos e Proteção**. 1999. Disponível em: <<http://www.uff.br/lev/downloads/apostilas/SE.pdf>>. Acesso em: 5 fev. 2017.

ONS. **Histórico da Operação: Geração de Energia**. 2016. Disponível em: <[http://www.ons.org.br/historico/geracao\\_energia.aspx](http://www.ons.org.br/historico/geracao_energia.aspx)>. Acesso em: 25 jan. 2017.

PIRES, Robson Celso. **Componentes de Linhas de Transmissão**. Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2009. 97 slides, color.

ROCHA JUNIOR, Ivo. **Fotografias**. Disponível em: <<https://www.flickr.com/photos/92036053@N06/>>. Acesso em: 9 fev. 2017.

SOUSA, Pedro Emanuel Simões. **Problemática do Isolamento nas Linhas de Muito Alta Tensão nas Zonas Poluídas**. 2006. 82 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2006. Cap. 3.

UEPG. **Fundações Rasas: Sapatas**. Disponível em: <<http://www.uepg.br/denge/aulas/fundacao/fig9.htm>>. Acesso em: 6 fev. 2016.

## APÊNDICE A – REGISTRO DE ATIVIDADES

Com vistas ao acompanhamento das atividades do aluno e preparação para a elaboração do relatório, o orientador sugeriu a criação de um registro diário das atividades realizadas, em forma de planilha. O registro, organizado mensalmente durante os 4 meses de estágio, pode ser verificado a seguir.

Novembro	
1	Conversa com os supervisores/apresentação da empresa: história, área de atuação, obras realizadas e em andamento
2	Feriado
3	Acompanhamento das atividades do supervisor (Orçamento de projetos)
4	Análise dos arquivos dos projetos da SE Ceará Mirim II e do Bay de Conexão LT Mossoró IV
5	Sábado
6	Domingo
7	Acompanhamento das atividades do supervisor
8	Orçamento de projetos e Matriz de responsabilidades
9	Acompanhamento das atividades do escritório
10	Acompanhamento das atividades do escritório
11	Análise de mudanças na execução de obra no CESI (Complexo Eólico Santo Inácio)
12	Sábado
13	Domingo
14	Início da elaboração do orçamento/Levantamento de custos de uma LT 230 kV para a SE Coremas - PB
15	Feriado - Proclamação da República
16	Continuação da atividade do dia 14 - elaboração de planilha com contabilidade das variáveis
17	Acompanhamento do orçamento da LT 69 kV 12 km - SE Coletora/Bay SE Bom Jesus da Lapa
18	Organização da planilha cujos cálculos iniciaram dia 14 (LT 230 kV)
19	Sábado
20	Domingo
21	Elaboração de gráficos para monitoramento de despesa com combustível - Icaraizinho
22	Elaboração de gráficos para monitoramento de despesa com combustível - Icapuí
23	Cotação de LT para ligação de parque fotovoltaico à SE Juazeiro, em Juazeiro - BA.
24	Prosseguimento da cotação
25	Início do desenvolvimento de programa em C++ para cálculo de volume em fundações de torre
26	Sábado
27	Domingo
28	Orçamento de LT 69 kV para ligação da Unidade Fotovoltaica São Pedro à SE Bom Jesus da Lapa
29	Término da cotação da UFV São Pedro; Envio da Proposta Comercial das LTs em Juazeiro, Coremas e Bom Jesus da Lapa. Essas três cotações fazem parte de uma única proposta. Os estudos se iniciaram no dia 14/11.
30	Elaboração de proposta comercial para execução de obra em LTs de 138 kV e 34,5 kV
<b>Obs.:</b> Onde são citados orçamento ou cotação, foram realizadas atividades de definição de tipos e dimensionamento de fundações e estruturas, definição de etapas de execução da construção de LT, especificação e quantificação de atividades e materiais.	

<b>Dezembro</b>	
1	Início de estudos para proposta de execução do seccionamento de uma LT 500 kV em São João da Fronteira - PI
2	Término da elaboração da proposta iniciada em 30/11: Lançamento de segundo circuito em LT 138 kV e montagem de LT 34,5 kV para o Parque Eólico Baixa do Feijão, em Jandaíra - RN
3	Sábado
4	Domingo - trabalho no programa em C++, ampliação para cálculo de outros itens
5	Apresentação de nova versão da rotina de cálculo cujo desenvolvimento foi iniciado dia 25.11; Continuação dos estudos iniciados dia 01/12; Vistoria do galpão com obtenção de fotografias.
6	Revisão do programa de cálculo de materiais para orçamentação
7	Pesquisa de dados para dimensionamento de estrutura do estudo iniciado em 01/12
8	Feriado
9	Envio de proposta de execução do seccionamento da LT 500 kV; Continuação da cotação de LT 230 kV - 4 km em Coremas, iniciada em 14/11.
10	Sábado
11	Domingo
12	Início de estudos para cotação de rede de média tensão em Coremas
13	Implementação de modificações no aplicativo para cálculo de materiais; continuação dos estudos iniciados no dia 12/12, para envio da proposta de montagem de rede de média tensão de um parque eólico em Coremas - PB.
14	Início da revisão da proposta de execução enviada ontem com as observações indicadas pelo representante da empresa interessada.
15	Continuação da revisão da proposta, realizando as mudanças indicadas pelo representante da outra parte.
16	Prosseguimento do desenvolvimento do aplicativo de cálculo para cotações de LT
17	Sábado
18	Domingo - finalização da versão 4 do aplicativo de cálculo de materiais
19	Apresentação da versão 4 do aplicativo ao supervisor;
20	Revisão da cotação de LTs 34,5 e 69 kV para o parque eólico Pedra Rajada.
21	Término da revisão desenvolvida no dia 20/12; Formatação de cronograma utilizando o MS Project
22	Envio dos arquivos da revisão; atualização do aplicativo de cálculo de materiais
23	Revisão do aplicativo de cálculo de materiais
24	Sábado
25	Domingo - Natal
26	Realização de modificações no aplicativo de cálculo, conforme sugestões e pedidos do supervisor.
27	Edição de arquivos de projeto de fundações no AutoCAD; Início da Especificação técnica de uma rede 13,8 kV
28	Quantificação dos materiais e descrição dos serviços para elaboração da proposta de execução de rede subterrânea de 13,8 kV
29	Continuação da cotação dos materiais e serviços para a proposta da rede 13,8 kV
30	Continuação da listagem de materiais para a cotação.
31	Sábado

Janeiro	
1	Domingo
2	Revisão da lista de materiais e serviços elaborada a partir do dia 27/12 para cotação de rede 13,8 kV
3	Início de estudos para a cotação da construção de rede, subestação coletora e LT para um parque fotovoltaico em Tacaimbó - PE
4	Continuação dos estudos iniciados em 03/01; Envio da revisão final da proposta elaborada nos dias 30/11 a 02/12/16. A proposta foi aceita: a obra consistirá na construção de uma rede aérea de 34,5 kV para atendimento a um parque eólico e no lançamento de um 2º circuito em uma LT 138 kV.
5	Revisão da proposta de construção de uma LT 69 kV, elaborada nos dias 28 e 29/11.
6	Continuação da revisão da proposta da LT 69 kV
7	Sábado
8	Domingo
9	Saída de Campina Grande rumo a obra de Icapuí - CE; chegada ao dormitório em Tibau - RN próximo das 23h40
10	Acompanhamento de atividades do canteiro de obras e escritório*
11	Após o almoço, saída de Icapuí com destino a Icarai de Amontada - CE.
12	Acompanhamento de atividades do canteiro de obras e escritório*
13	Acompanhamento de atividades do canteiro de obras e escritório*
14	Sábado
15	Domingo - Saída de Icarai de Amontada às 8 h, chegada em Tibau próximo das 13h30.
16	Acompanhamento de atividades do canteiro de obras e escritório*
17	Continuação: Supervisão da limpeza da faixa de servidão (supressão)
18	Continuação: Impressão de listas de materiais para montagem das torres (romaneio)
19	Continuação: Pintura da interface dos <i>stubs</i> e checagem de materiais das primeiras estruturas de aço
20	Retorno a Campina Grande (chegada às 11h45)
21	Sábado
22	Domingo
23	Continuação dos estudos para a cotação iniciada em 03/01.
24	Envio de outra proposta da LT 69 kV em Tacaimbó - PE
25	Continuação dos estudos iniciados em 03/01. O envio da proposta à empresa que solicitou um orçamento completo (RMT + LT + SE + BAY) foi abortado, tendo sido enviado apenas o orçamento da LT a outra empresa (24/01)
26	Estudo de mudanças no projeto das fundações da SE Icaraizinho para solicitação de aditivo à obra
27	Estudo de mudanças no projeto para envio de revisão da proposta para o Parque Eólico Pedra Rajada (Cerro Corá - RN) consistindo em RMT 34,5 kV e LT 69 kV; última versão foi enviada em 22/12.
28	Sábado
29	Domingo
30	Continuação do estudo do projeto da RMT 34,5 kV para o Parque Eólico Pedra Rajada
31	Prosseguimento da revisão de cotação para o Parque Eólico Pedra Rajada: Revisão do projeto da LT 69 kV
*	Registro detalhado na forma de anotações e fotografias

<b>Fevereiro</b>	
1	Envio das propostas revisadas referente à implantação de RAMT 34,5 kV e dois trechos de LT 69 kV para o parque eólico Pedra Rajada em Cerro Corá - RN.
2	Início de estudos para projeto e cotação estimada de uma LT 69 kV de 3,5 km e de uma SE Elevadora 34,5/69 kV 52 MVA para uma UFV em Malta - PB.
3	A proposta de construção de um trecho da LT 69 kV enviada no dia 01/02 foi aceita. Início dos preparativos para a execução da obra.
4	Sábado
5	Domingo
6	Preparativos para a celebração do contrato de construção da LT 69 kV em Cerro Corá - RN.
7	Discussão de cláusulas do contrato
8	Revisão do programa de cálculo de materiais
9	Término da primeira versão completa do relatório de estágio
10	Acompanhamento das atividades do escritório
11	Sábado
12	Domingo
13	Revisão do aplicativo de cálculo de materiais
14	Estudo de especificações técnicas para cotação da instalação de um grupo motor gerador na SE Campina Grande III
15	Recebimento de proposta de cotação da construção de uma LT 138 kV, SE Coletora e de um bay de recepção referentes a um complexo fotovoltaico em Paracatu - MG. Início dos estudos da especificação técnica da LT.
16	Continuação do estudo iniciado em 15/02; utilização do aplicativo para elaborar relatório da quantidade estimada de materiais para a cotação da LT; Elaboração da planilha de preço unitário da LT 138 kV.
17	Continuação das atividades: cotação da construção da SE Coletora para a UFV em Paracatu - MG.
18	Sábado
19	Domingo
20	Cotação da construção de SE Coletora 34,5/230 kV (Ouroândia - BA) e Bay de Conexão na SE Morro do chapéu II (Cafarnaum - BA), com vistas à interligação de um futuro parque eólico ao sistema.
21	Continuação das atividades; término da cotação do Bay de conexão para a SE Morro do Chapéu II.
22	Apresentação da atual versão do aplicativo ao supervisor.
23	Término do estágio - Entrega do relatório.
24	
25	Sábado
26	Domingo
27	
28	

# APÊNDICE B – EXEMPLO DE RELATÓRIO

## PRODUZIDO PELO APLICATIVO DESENVOLVIDO

VALORES CALCULADOS PARA A LT:                    LT UFV São Pedro

-----

### CARACTERÍSTICAS

Nível de tensão:                    69 kV  
 Comprimento da LT:                11.1 km  
 Largura da faixa de servidão:    15 m  
 Área da faixa de servidão: 166500 m<sup>2</sup> = 16.65 hectares

Estruturas de:                    Concreto  
 Nº de estruturas de ancoragem:    12  
 Nº de estruturas de suspensão:    45

### FUNDAÇÕES

1:        Tipo 1 - Tubulão cilíndrico  
           33 estruturas de suspensão  
           2 bases por estrutura

Parâmetros da fundação:  
 Profundidade: 2.6 m  
 Afloramento: 0 m  
 Diâmetro: 1.5 m  
 Regularização: 0.1 m

Volumes calculados por base:  
 Escavação:                    4.77129 m<sup>3</sup>  
 Concreto:                      4.59458 m<sup>3</sup>  
 Concreto para regularização: 0.176715 m<sup>3</sup>  
 Reaterro:                      0 m<sup>3</sup>  
 Escavação para aterramento: 1.104 m<sup>3</sup>  
 Massa de aço para a armação: 75.1002 kg

2:        Tipo 1 - Tubulão cilíndrico  
           12 estruturas de suspensão  
           2 bases por estrutura

Parâmetros da fundação:  
 Profundidade: 3.2 m  
 Afloramento: 0 m  
 Diâmetro: 1.5 m  
 Regularização: 0.1 m

Volumes calculados por base:  
 Escavação:                    5.83158 m<sup>3</sup>  
 Concreto:                      5.65487 m<sup>3</sup>  
 Concreto para regularização: 0.176715 m<sup>3</sup>  
 Reaterro:                      0 m<sup>3</sup>  
 Escavação para aterramento: 1.104 m<sup>3</sup>  
 Massa de aço para a armação: 92.431 kg

3:        Tipo 1 - Tubulão cilíndrico  
           12 estruturas de ancoragem  
           3 bases por estrutura

## Parâmetros da fundação:

Profundidade: 2.6 m  
 Afloramento: 0 m  
 Diâmetro: 1.5 m  
 Regularização: 0.1 m

## Volumes calculados por base:

Escavação: 4.77129 m<sup>3</sup>  
 Concreto: 4.59458 m<sup>3</sup>  
 Concreto para regularização: 0.176715 m<sup>3</sup>  
 Reaterro: 0 m<sup>3</sup>  
 Escavação para aterramento: 0.96 m<sup>3</sup>  
 Massa de aço para a armação: 75.1002 kg

## VALORES TOTAIS:

## Estruturas de suspensão:

Escavação: 454.863 m<sup>3</sup>  
 Concreto de preenchimento: 438.959 m<sup>3</sup>  
 Concreto de regularização: 15.9043 m<sup>3</sup>  
 Reaterro: 0 m<sup>3</sup>  
 Escavação de aterramento: 99.36 m<sup>3</sup>  
 Massa de aço para a armação: 7174.95 kg

## Estruturas de ancoragem:

Escavação: 171.767 m<sup>3</sup>  
 Concreto de preenchimento: 165.405 m<sup>3</sup>  
 Concreto de regularização: 6.36173 m<sup>3</sup>  
 Reaterro: 0 m<sup>3</sup>  
 Escavação de aterramento: 34.56 m<sup>3</sup>  
 Massa de aço para a armação: 2703.61 kg

## Total:

Escavação: 626.63 m<sup>3</sup>  
 Concreto de preenchimento: 604.364 m<sup>3</sup>  
 Concreto de regularização: 22.266 m<sup>3</sup>  
 Reaterro: 0 m<sup>3</sup>  
 Escavação de aterramento: 133.92 m<sup>3</sup>  
 Massa de aço para a armação: 9878.56 kg

-----  
 Escavação total: 760.55 m<sup>3</sup>

## ISOLADORES

Número de conjuntos de isoladores de ancoragem: 72  
 Número de conjuntos de isoladores de suspensão: 135  
 Número de conjuntos de isoladores para jumper de ancoragem: 36  
 -----  
 Número total de conjuntos de isoladores: 243

## CABOS

Comprimento total dos cabos condutores: 33.3 km  
 Comprimento total dos cabos OPGW: 11.1 km  
 Tipo de cabo: Rail  
 Massa linear do cabo: 1605.8 kg/km  
 Massa total dos cabos condutores: 53473.1 kg

Comprimento de cabos para-raios: 0 km

Comprimento total de cabos contrapeso: 3267 m  
 Massa total dos cabos contrapeso: 540.035 kg

-----  
 15:45:11 06/02/17