

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA DE PRODUÇÃO -PPGEP
MESTRADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

ANÁLISE DE IMPACTOS AMBIENTAIS CAUSADOS PELA UTILIZAÇÃO DE
ESTACAS DO TIPO RAIZ NA CONSTRUÇÃO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO DE
ENERGIA

IGOR REIS BARROS

MANAUS

2021

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA DE PRODUÇÃO - PPGE
MESTRADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

IGOR REIS BARROS

ANÁLISE DE IMPACTOS AMBIENTAIS CAUSADOS PELA UTILIZAÇÃO DE
ESTACAS DO TIPO RAIZ NA CONSTRUÇÃO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO DE
ENERGIA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Amazonas, como parte do requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, na área de Gestão da Produção.

Orientador: Raimundo Pereira de Vaconcelos, Dr.

MANAUS

2021

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

B277a Barros, Igor Reis
Análise de impactos ambientais causados pela utilização de estacas do tipo raiz na construção de linhas de transmissão de energia / Igor Reis Barros . 2021
77 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Raimundo Pereira de Vasconcelos
Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) -
Universidade Federal do Amazonas.

1. Linhas de transmissão. 2. Impactos ambientais. 3. Faixa de Servidão. 4. Fluido de Perfuração. I. Vasconcelos, Raimundo Pereira de. II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

IGOR REIS BARROS

ANÁLISE DE IMPACTOS AMBIENTAIS CAUSADOS PELA UTILIZAÇÃO DE
ESTACAS DO TIPO RAIZ NA CONSTRUÇÃO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO DE
ENERGIA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Amazonas, como parte do requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, na área de Tecnologias Emergentes.

Aprovada em 26 de julho de 2021

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Raimundo Pereira de Vasconcelos, Presidente.

Universidade Federal do Amazonas – UFAM

Prof. Dr. Raimundo Kennedy Vieira, Membro.

Universidade Federal do Amazonas – UFAM

Prof. Dr. Nilton de Souza Campelo, Membro.

Universidade Federal do Amazonas - UFAM

“Ser feliz ao realizar a jornada
pode ser muito melhor do que
chegar ao destino com
sucesso”.

Jordan B. Peterson

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por seu amor por me dar o dom da vida e me capacitar para que possa enfrentar os obstáculos do cotidiano.

Aos meus pais, Paulo e Magna, por sempre me apoiarem nos meus desafios. Por sempre darem o melhor para que eu tivesse acesso a uma educação de qualidade e pelo amor e carinho.

Aos meus amigos e minha namorada pelo apoio e companheirimos, sempre me incentivando a ser uma pessoa melhor e ir até o fim em meus projetos.

Ao Prof. Raimundo Pereira de Vasconcelos, pelo apoio, pelo empenho, pela orientação, pela dedicação, pela paciência e pela confiança que foram indispensáveis para a conclusão deste trabalho.

À Universidade Federal do Amazonas (UFAM), sua estrutura e seus professores que foram fundamentais para a aprendizagem e êxito neste trabalho.

E a todos que de alguma forma ao longo destes anos de mestrado, colaboraram para o meu aprendizado e conclusão desta dissertação. Muito obrigado!

RESUMO

Os sistemas de produção, transmissão e distribuição de energia de um país estão diretamente ligados aos seus avanços tecnológicos e crescimento econômico. No Brasil estão previstas a criação e expansão de diversas linhas de transmissão. Tais empreendimentos esbarram muitas vezes nos aspectos ambientais, pois avançam sobre áreas de floresta e de conservação. Neste contexto o objetivo desta pesquisa foi fazer um levantamento dos principais impactos ambientais ocasionados pela implementação de linhas de transmissão em áreas de floresta de modo que se tenha uma melhor compreensão do assunto, podendo assim minimiza-los ou extingui-los. Após levantamento de informações, constatou-se que a maioria dos impactos ambientais é decorrente da área desmatada ao redor das linhas de transmissão, chamada de faixa de servidão, que cria um corredor que altera a vegetação. Porém, um dos principais impactos graves está relacionado ao tipo de fundação mais utilizado: a estaca raíz, que emprega em sua perfuração uma lama betonítica estabilizante tóxica. Com relação ao emprego desse tipo de fundação em torres de linhas de transmissão, observou-se que os impactos podem ser minimizados por meio da utilização de alternativas mais sustentáveis, como a substituição da lama betonítica por fluidos que podem ser à base de biodiesel, ou à base de água com aditivos, ou sintéticos. Os resultados desta pesquisa podem ser utilizados como base para minimizar tais impactos que podem ocasionar danos ao meio ambiente e atrasos na construção das linhas, propondo alternativas viáveis economicamente e ambientalmente.

Palavras-chave: Linhas de Transmissão; Impactos Ambientais; Faixa de Servidão; Fluido de Perfuração.

ABSTRACT

A country's energy production, transmission and distribution systems are directly linked to its technological advances and economic growth. In Brazil, the creation and expansion of several transmission lines are planned. Such ventures often come up against environmental aspects, as they advance over forest and conservation areas. In this context, the objective of this research was to study the main environmental impacts caused by the implementation of transmission lines in forest areas in order to have a better understanding of the subject, thus being able to minimize or extinguish them. After gathering information, it was found that most of the environmental impacts are due to the deforested area around the transmission lines, called the right of way, which creates a corridor that alters the vegetation. Other serious impacts are related to the type of foundation most used: the micropile, which uses a toxic stabilizing mud in its drilling. Regarding the use of root piles in the foundation of transmission line towers, it was observed that the impacts can be minimized through the use of more sustainable alternatives, such as the use of biodiesel-based fluids, the use of based fluids of water with additives and the use of synthetic fluids. The results of this research can be used as a basis to minimize such impacts that can cause damage to the environment and delays in the construction of the lines, proposing economically and environmentally viable alternatives.

Keywords: Transmission Lines; Environmental Impacts; Right of Way; Drilling Fluid.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Instituições do setor elétrico	19
Figura 2 – Mapa dinâmico do SIN (Sistema interligado nacional)	22
Figura 3 – Sistema de transmissão brasileiro	23
Figura 4 – Exemplo de cadeia de suspensão simples	25
Figura 5 – Alturas mínimas em metros entre o cabo condutor e o solo	26
Figura 6 – Potencial de passo	27
Figura 7 – Potencial de toque	28
Figura 8 – Silhueta de uma torre autoportante e uma estaiada	29
Figura 9 – Perfis de torres monotubulares	30
Figura 10 – Vão de peso de uma torre	31
Figura 11 – Ação do vento sobre o tronco de uma torre	32
Figura 12 – Ligação entre a torre autoportante e a sua fundação	33
Figura 13 – Principais tipos de fundações superficiais	34
Figura 14 – Fundações profundas: a)estacas, b)tubulões, c)caixões	35
Figura 15 – Execução de fundações do tipo estaca raiz	35
Figura 16 – Execução de tubulão a céu aberto	38
Figura 17 – Execução de tubulação a ar comprimido	39
Figura 18 – Faixa de servidão e áreas afetadas diretamente e indiretamente pelas linhas de transmissão	48
Figura 19 – Exemplos de impactos ambientais de uma linha de transmissão divididos por meio e fase da linha de transmissão Miracena – Saperaçu	49
Figura 20 – Diagrama de transferência de poluentes para o solo e corpos hídricos subterrâneos	57
Figura 21 – Esquema de bombeamento do colchão no poço	61

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação dos fluidos de perfuração	41
Quadro 2 – Matriz de impactos ocasionados pela construção de linhas de transmissão ...	53
Quadro 3 – Principais vantagens e desvantagens das alternativas encontradas	66

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRADEE – Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica
AIA – Avaliação de Impacto Ambiental
ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
APA – Áreas de proteção ambiental
ASME – *American Society of Mechanical Engineers*
CCEE – Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
EBO – Emulsificante a base de borra de óleo
EIA – Estudo de Impacto Ambiental
IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
kV – Quilovolt
LCM – *Lost circulation material*
NBR – Norma Técnica Brasileira
ONS – Operador do Sistema Elétrico
pH – Potencial de hidrogênio
PPM – Partes por milhão
RIMA – Relatório de Impacto Ambiental
SBF – *Synthetic Based Fluid*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVOS DA PESQUISA	18
2.1 Objetivo Geral	18
2.2 Objetivos Específicos	18
2.3 Estrutura da Dissertação	18
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
3.1 Instituições do Setor Elétrico	19
3.1.1 CNPE – Conselho Nacional de Política Energética	19
3.1.2 MME – Ministério de Minas e Energia	19
3.1.3 ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico	20
3.1.4 ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica	20
3.1.5 EPE – Empresa de Pesquisa Elétrica	20
3.1.6 CMSE – Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico	20
3.1.7 CCEE – Câmara de Comercialização de Energia Elétrica	20
3.2 Linhas de transmissão de energia	20
3.3 Torres de transmissão de energia	24
3.3.1 Componentes de uma torre de transmissão	25
3.3.1.1 Cadeias de isoladores	25
3.3.1.2 Cabo de fase ou cabo condutor	25
3.3.1.3 Cabo para-raios ou cabo guarda	26
3.3.1.4 Sistema de aterramento	27
3.3.2 Tipos de torre de transmissão	28
3.3.2.1 Quanto ao sistema estrutural	28
3.3.2.2 Quanto a função na linha	29
3.3.2.3 Outros tipos de torres	30
3.3.3 Carregamento nas torres	31
3.3.4 Ligação entre a torre e a fundação	32
3.4 Fundações para torres de transmissão de energia	33
3.4.1 Fundações superficiais	33
3.4.1.1 Sapatas	34

3.4.2 Fundações profundas	35
3.4.2.1 Estacas de fundação	35
3.4.2.2 Estacas de deslocamento	35
3.4.2.3 Estacas escavadas	36
3.4.2.4 Estaca raíz	36
3.4.2.5 Tubulões	38
3.4.2.5.1 Tubulões a céu aberto	38
3.4.2.5.2 Tubulões a ar comprimido	39
3.5 Fluidos de perfuração	40
3.5.1 Classificação dos fluidos de perfuração	41
3.5.1.1 Fluidos a base de água	42
3.5.1.2 Fluidos a base de óleo	43
3.5.1.3 Fluidos a base de ar	44
3.5.1.4 Fluidos sintéticos	44
3.6 Licenciamento ambiental de linhas de transmissão de energia no Brasil	45
3.6.1 Órgão responsável	45
3.6.2 Etapas do licenciamento ambiental	46
3.7 Impactos Ambientais	47
4. MÉTODOS	50
4.1 Natureza da pesquisa	50
4.2 Objetivos da pesquisa	51
4.3 Abordagem da pesquisa	51
4.4 Procedimentos da pesquisa	52
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	53
5.1 Efeito barreira	54
5.2 Efeito de borda	54
5.3 Efeitos do campo eletromagnético	55
5.4 Risco de incêndios	55
5.5 Efeito sonoro	55
5.6 Poluição do ar	55
5.7 Interferência no solo	56
5.8 Contaminação de corpos hídricos e alteração da qualidade da água	57
5.9 Geração de expectativas	58
5.10 Impactos sobre a infraestrutura local	58

5.11 Aumento no índice de DST's e outras doenças	59
5.12 Aumento da massa salarial e arrecadação tributária	59
5.13 Alternativas para utilização da estaca raíz	60
5.13.1 Utilização de colchões para remoção de fluidos a base de óleo	60
5.13.2 Fluidos a base de biodiesel	62
5.13.3 Utilização de lamas a base de água com aditivos	62
5.13.4 Utilização de argilas de várzea da zona metropolitana de Manaus	63
5.13.5 Utilização de fluidos sintéticos	64
5.13.6 Emulsificante a base de borra de óleo	64
5.13.7 Tratamento à base de microondas na descontaminação por fluidos sintéticos	65
5.13.8 Vantagens e desvantagens das alternativas encontradas	66
6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	68
6.1 Conclusões	68
6.2 Sugestões para trabalhos futuros	70
REFERÊNCIAS	71

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO

No fim do século XIX, quando a principal atividade econômica brasileira ainda era a agricultura, a eletricidade como fonte de energia pouco foi utilizada, sendo construída em 1883, na cidade de Diamantina, em Minas Gerais, a primeira linha de transmissão do país. Ela tinha aproximadamente 2 km de extensão e o seu objetivo era transportar a energia gerada em uma usina hidrelétrica, formada por duas rodas d'água e dois dínamos, para o acionamento de bombas de água em uma mina de diamantes. Esta era possivelmente na época a mais longa linha do mundo (Fuchs, 1977).

Com o aumento da concentração populacional nos centros urbanos, e a partir de 1920 já se verificava a maior utilização de geração de energia hidroelétrica no Brasil, representada por 80% da potência instalada, indo na contramão da tendência mundial, com a predominância de termoelétricas a base de carvão mineral. (Menezes, 2015).

Por volta dos anos 90 houve transformações mundiais no setor elétrico com objetivo de quebrar a integração vertical entre os setores de geração, transmissão e distribuição de energia, que frequentemente eram representadas por um monopólio estatal. A ideia era que se prevalecesse a livre concorrência onde possível, otimizando o setor e deixando com o Estado apenas o papel regulatório. Nesse contexto, os setores de geração e comercialização passaram a ser segmentos competitivos, no entanto os setores de transmissão e distribuição são considerados monopólios, uma vez que é inviável a competição nos mesmos em uma única área de concessão entre dois agentes. Sendo assim, estes dois segmentos são regidos pelo modelo de regulação de preços ou regulação por incentivos (ABRADEE, 2014).

Ainda segundo ABRADEE (2014), o sistema elétrico acompanhou as mudanças mundiais, passando por diversas fases de desenvolvimento e regulamentação. A reforma brasileira iniciou no ano de 1995, com a chamada Lei das Concessões e a Lei do Setor Elétrico, que estabeleceu normas para outorga e prorrogação das concessões de serviços públicos existentes e desverticalização dos serviços de energia elétrica. Uma das providências estabelecidas foi a exigência de outorga por meio de processos licitatórios para todas as concessões para prestação de serviços relacionados à energia elétrica. No ano de 1995 também foi autorizado a entrada de investimentos estrangeiros, o que ajudou a impulsionar o setor elétrico.

Outro ponto marcante para o setor elétrico foi a criação da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), por meio da lei 9.427/96, como órgão regulador do setor. Nos segmentos em que se ocorre concorrência, a regulação serve para garantir a viabilidade e concorrência no setor. Já nos monopólios naturais, sua função é coibir abusos econômicos e aumentar a eficiência, garantindo uma tarifa aceitável e uma distribuição confiável (Pereira, 2014).

Como consequência da grave crise energética sofrida no Brasil nos anos de 2001 e 2002, o Governo Federal implementou o Plano de Racionamento de Energia Elétrica e a criação da Câmara de Gestão da Crise de Energia Elétrica – GCE. Também foi instituído em 2002 o Comitê de Revitalização do Modelo do Setor Elétrico, que trazia diversas alterações no setor para assegurar o fornecimento de energia. Além disso, na década de 90 foram criadas diversas entidades com o objetivo de ajudar a manter o funcionamento do setor e o fornecimento de energia (CCEE, 2019).

O sistema elétrico é composto por três partes: a produção, a transmissão e a distribuição de energia. Após a produção da energia, o transporte da mesma é feito por meio das linhas de transmissão, onde estas são um componente fundamental da infraestrutura energética de um país, principalmente do Brasil, onde a maior parte das usinas de geração de energia são hidrelétricas, geralmente afastadas dos maiores centros consumidores (Murta, 2015).

As linhas de transmissão são compostas basicamente de duas partes: a parte ativa (cabos-fase) e a passiva (isoladores, ferragens e a estrutura). As estruturas que existem ao longo das linhas de transmissão aéreas com a função de suporte são chamadas de torres. Elas são responsáveis por manter o espaçamento adequado entre os cabos, além de transmitir os esforços às fundações. Já as fundações têm como função transmitir os carregamentos oriundos da superestrutura para o solo, evitando sobrecargas que prejudicariam o sistema. As fundações podem ser divididas em diretas (ou rasas) e profundas.

Dentre os tipos de fundações diretas, as sapatas são as mais empregadas em torres de transmissão de energia, porém, este tipo de fundação, apesar de ser a mais econômica e de simples execução possui limitações técnicas quanto ao seu emprego mais generalizado, deste modo, com muita frequência são empregadas as chamadas fundações profundas.

As diversas tipologias de fundações profundas utilizadas apresentam vantagens e desvantagens tanto pelo aspecto econômico, quanto ao de segurança e impacto ambiental. Portanto, a busca por tipos de fundações que apresentem vantagens principalmente econômicas em relação as tradicionalmente empregadas, reduzindo os danos ambientais, torna-se de muito interesse para o setor energético no Brasil, visto que este possui a necessidade de uma expansão

maior de sua rede de transmissão de energia, ocasionada pela demanda exigida para o crescimento que se espera para este país nos próximos anos.

As empresas do setor elétrico utilizam vários tipos de fundações para o suporte de estruturas de transmissão de energia elétrica: desde fundações rasas, como sapatas isoladas até fundações profundas, como o tubulão a céu aberto reto ou com saia, estaca pré-moldada de concreto, estaca injetada tipo raiz e do tipo metálica. Cada tipo de fundação tem vantagens e desvantagens, dependendo das condições geológicas, logística de execução e segurança do trabalho, impacto ao meio ambiente, custos, entre outros.

A execução de tubulões com saia envolve a realização de trabalhos em espaço confinado durante o alargamento e limpeza da base, e isto implica em grandes riscos ao trabalhador. As estacas metálicas e pré-moldadas de concreto são de fácil instalação, no entanto, não são adequadas a solos pedregosos, com presença de matacões, os quais podem causar o desvio da estaca durante a instalação, e conseqüentemente a sua perda de capacidade de carga.

A estaca injetada tipo raiz, por outro lado, é um tipo de fundação vantajosa por ser aplicável a virtualmente qualquer tipo de terreno, mesmo com a presença de rocha e matacões, sendo uma das fundações mais empregadas para a aplicação em torres de transmissão de energia. Seu processo executivo, porém, apresenta um grande problema ambiental devido ao uso de lama bentonítica para estabilizar as paredes da escavação. Deve-se destacar que tal processo também é muito empregado em poços de petróleo.

Por fim, as sapatas são elementos de fundação superficial de concreto armado, de fácil execução, não apresentando risco de espaço confinado ao trabalhador, e com impacto ambiental inexpressível. Porém, elas não apresentam o mesmo desempenho que as fundações profundas quanto a resistência a tração. Deste modo foi feito um estudo com o objetivo de levantar os principais impactos ambientais ocasionados pela utilização de fundações tipo raiz e propor alternativas para minimizar os mesmos.

2 OBJETIVOS DA PESQUISA

2.1 OBJETIVO GERAL

Estudar os principais impactos ambientais ocasionados pela utilização de fundações em estaca raiz na construção de linhas de transmissão de energia elétrica e propor alternativas de redução dos mesmos.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFOS

- Levantar os impactos ambientais ocasionados pela construção de linhas de transmissão de energia elétrica no Brasil;
- Levantar os principais impactos ambientais ocasionados pela utilização de fundações do tipo raiz para torres de linhas de transmissão;
- Definir as principais causas para os impactos ambientais;
- Buscar alternativas em pesquisas recentes para minimizar os impactos ambientais;

2.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação está estruturada em capítulos, onde o primeiro apresenta uma breve introdução e justificativa, no segundo estão listados os objetivos da pesquisa.

No terceiro capítulo é apresentada a fundamentação teórica, onde é mostrado o estado da arte referente ao assunto abordado na dissertação. Tal fundamentação é de fundamental importância para a discussão dos resultados que serão apresentados.

O quarto capítulo versa sobre os métodos empregados para a realização do trabalho de pesquisa.

O quinto capítulo traz os resultados e discussões obtidos na pesquisa apresentada nesta dissertação. E finalmente no sexto capítulo são colocadas as conclusões do trabalho.

CAPÍTULO 3

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Instituições do Setor Elétrico

Existem 7 principais instituições que compõe o setor elétrico brasileiro, as mesmas e suas funções serão descritas a seguir, de acordo com CCEE (2019), conforme observado na Figura 1.

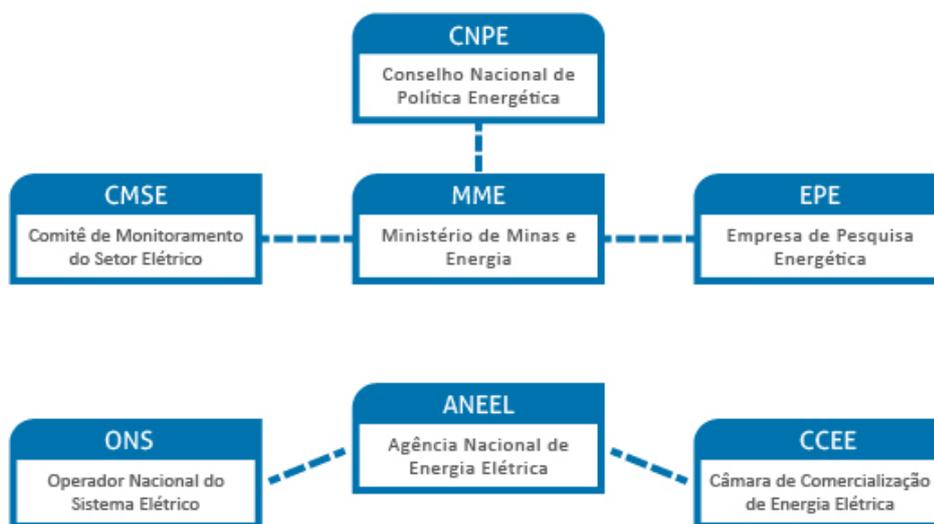


Figura 1 - Instituições do setor elétrico brasileiro (CCEE, 2019).

3.1.1 CNPE – Conselho Nacional de Política Energética

Órgão responsável por formular políticas e diretrizes de energia e assegurar o suprimento de insumos energéticos nas áreas de difícil acesso no país, além de estabelecer parâmetros para programas específicos e para importação e exportação de petróleo e gás natural.

3.1.2 MME – Ministério de Minas e Energia

Tem a função de formular e implementar políticas para o setor energético, de acordo com as diretrizes do CNPE. Estabelece planejamento do setor energético nacional, monitora a segurança do suprimento e define ações preventivas para a restauração da segurança e do suprimento no caso de desequilíbrios.

3.1.3 ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico

Opera, supervisiona e controla a geração de energia elétrica no Sistema Integrado Nacional (SIN), além de administrar a rede básica de transmissão de energia elétrica.

3.1.4 ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

Responsável por regular e fiscalizar a produção, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica.

3.1.5 EPE – Empresa de Pesquisa Energética

Vinculada ao MME, tem como função realizar estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético.

3.1.6 CMSE – Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico

Coordenado pelo MME, avalia e acompanha a continuidade e a segurança do suprimento elétrico em todo o território brasileiro.

3.1.7 CCEE – Câmara de Comercialização de Energia Elétrica

Promove leilões e contabiliza as operações de compra e venda de energia elétrica.

3.2 Linhas de Transmissão de Energia

Desde o seu descobrimento, a energia elétrica, sua geração, armazenagem e distribuição tem passado por inúmeras transformações, tornando-se um bem fundamental para o desenvolvimento humano, com uma demanda cada vez mais crescente. Com o objetivo de melhorar a qualidade e reduzir gastos do sistema elétrico e do custo final de energia, há um contínuo processo de evolução do sistema produtivo (ANEEL, 2008).

O desenvolvimento social e econômico de um país está fortemente ligado a sua expansão do setor elétrico. Podemos acompanhar o progresso de uma região pelo aumento de

sua demanda por eletricidade, tanto para os fornecedores (que precisam de mais energia para poderem produzir) quanto para os consumidores (que cada vez mais adquirem produtos como eletrodomésticos e eletroeletrônicos). Este crescimento no consumo implica num aumento de oferta, tornando necessário um investimento maior em infraestrutura do sistema elétrico (ANEEL, 2008).

A vasta extensão territorial brasileira, com cerca de 8,5 milhões de km² (EPE, 2017), aliada à uma grande abundância de recursos energéticos, permite ao país utilizar diversas fontes de geração de energia, na sua maioria, fontes renováveis. Segundo dados do Operador do Sistema Elétrico – ONS (2019), no Brasil, quase a totalidade da energia elétrica gerada provém de usinas hidroelétricas e termoelétricas. O transporte dessa energia é feito através de um sistema que interliga as usinas e os centros consumidores por meio de linhas de transmissão de energia, na sua maioria aéreas, utilizando-se cabos que se apoiam em suportes (torres ou postes) e em algumas situações, subterrâneas, com cabos dentro de dutos (Murta, 2015).

As usinas de geração de energia estão localizadas em diferentes regiões, conforme a figura 2 nos mostra, sendo elas responsáveis pelo fornecimento energético do país. Devido à vasta extensão territorial do Brasil, o sistema de transmissão precisa percorrer enormes distâncias para atender toda a demanda (ONS, 2019).

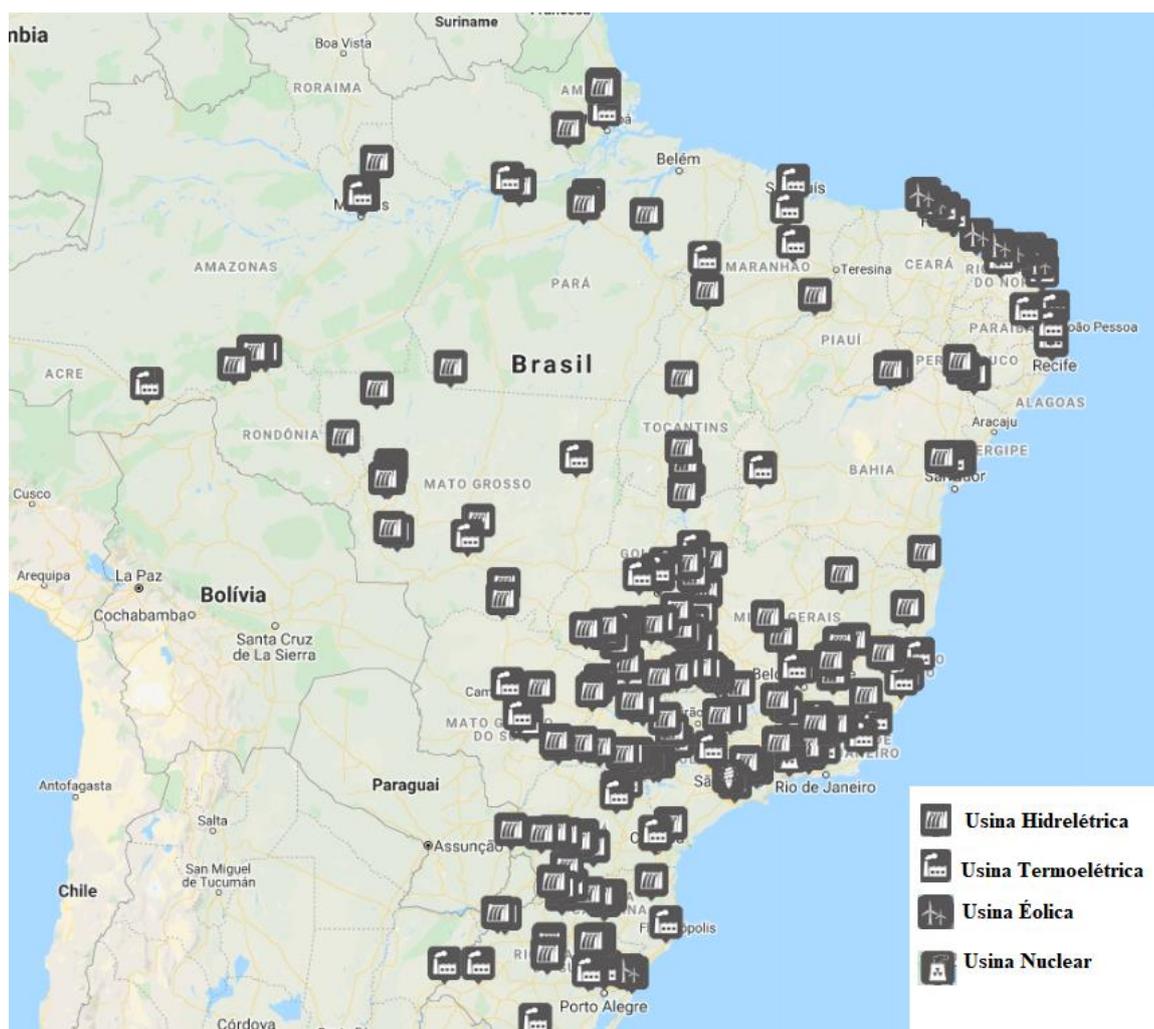


Figura 2 - Mapa dinâmico do SIN (Sistema Interligado Nacional) – Usinas Elétricas Brasileiras. (ONS, 2019).

As linhas de transmissão de energia elétrica são um componente fundamental da infraestrutura do cenário energético de um país, pois através delas é possibilitado o transporte de energia das fontes geradoras até os centros urbanos consumidores. Esta característica é muito importante em países onde a maioria da matriz energética é dominada pela energia hidrelétrica, como o Brasil, onde as usinas se encontram muito afastadas dos grandes centros (Murta, 2015).

O sistema elétrico em que as linhas de transmissão fazem parte é composto por três fases: produção, transmissão e distribuição da energia aos consumidores finais. Segundo Murta (2015), após a produção da energia nas usinas geradoras, o transporte e a interligação entre as centrais de distribuição são realizados através das linhas de transmissão, que podem operar em diferentes classes de tensões, sendo 69 kV, 138 kV, 230 kV, 345 kV, 440kV, 500 kV e 765kV as tensões utilizadas no Brasil, a Figura 3 nos mostra as principais linhas de transmissão.

Segundo Chaves (2004), a instalação de centrais de geração de energia em hidroelétricas, geralmente próximas das quedas de água e longe dos centros de consumo, implicou na necessidade imediata da expansão das linhas de transmissão. Além disso outros fatores também devem ser levados em consideração, como a extensão territorial brasileira e a crescente demanda de energia elétrica. Também é importante citar a expansão prevista do linhão de Tucuruí para Boa Vista que atualmente esbarra no seu licenciamento ambiental, tendo em vista que será preciso atravessar áreas de floresta e conservação ambiental, o que tem causado um grande atraso no início das obras até então, que deveriam ter iniciado em 2015. O projeto foi licitado pela Aneel em 2011, prevendo 715 km ligando Manaus a Boa Vista, dos quais 125km passam por terras do povo indígena Waimiri Atoari. Todos esses fatores em conjunto levam a uma grande necessidade de empreendimentos de transmissão cada vez mais grandiosos, seja para a expansão ou para a criação de uma nova linha de transmissão.

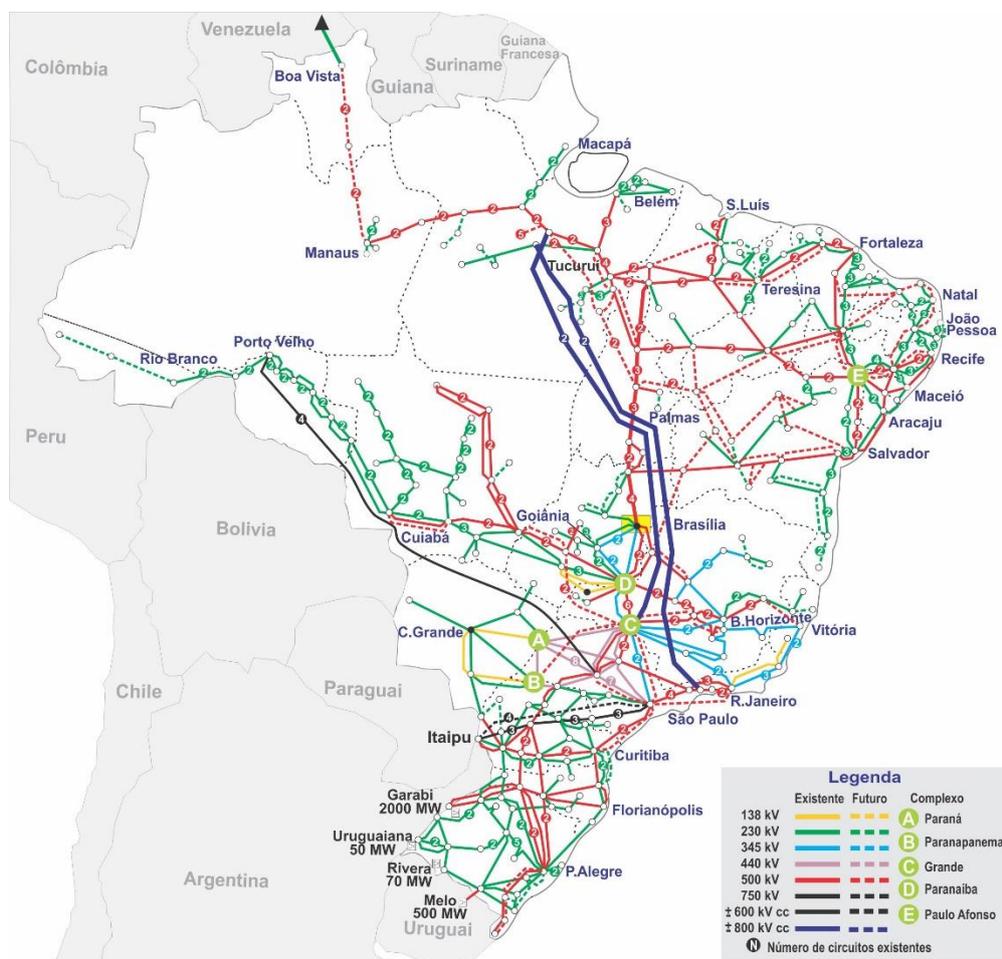


Figura 3 - Sistema de transmissão brasileiro (Fonte: ONS, 2019)

O transporte de energia pode ser realizado de dois modos: aéreo ou subterrâneo. Em geral, as linhas aéreas apresentam condutores nus, suportados por estruturas, das quais são

isolados através de isoladores. As linhas subterrâneas apresentam cabos isolados instalados em redes de dutos. O transporte de forma aérea é o modo mais utilizado, pois geralmente apresenta custos de implantação, manutenção e reparo mais baixos, fazendo com que o transporte de forma subterrânea praticamente só seja feito nos centros urbanos que sofrem com falta de espaço (Moreira, 2011).

Segundo a ONS (2011), a principal diretriz para o projeto de novas linhas de transmissão é considerar que estas estarão interligadas ao sistema existente e que deverão se adaptar ao mesmo sem comprometer ou limitar a sua operação nem impor restrições operativas às demais instalações do Sistema Interligado Nacional (SIN). Os projetos são orientados pela norma brasileira ABNT NBR 5422:1985, referente à criação de projetos de linhas de transmissão.

3.3 Torres de Transmissão de Energia

As linhas de transmissão de energia são compostas basicamente de duas partes diferentes que podem ser classificadas como ativa e passiva. Os cabos-fase, que são os agentes do transporte de energia, representam a parte chamada ativa da linha, já os isoladores, ferragens e a estrutura constituem a parte passiva (Murta, 2015).

Segundo Gontijo (1994), ao longo das linhas de transmissão aéreas existem estruturas de suporte que tem como função fornecer a sustentação aos cabos condutores e para-raios, sendo dimensionadas para suportarem os esforços mecânicos e transmiti-los à fundação. Além disso, o suporte também tem a função de manter o espaçamento adequado entre os cabos, respeitando os aspectos elétricos compatíveis com o nível de tensão. Estas estruturas são geralmente torres treliçadas com perfis de aço galvanizado ou postes de aço, concreto ou madeira.

Usualmente em tensões menores que 138 kV, é comum o uso de suportes do tipo poste, composto por peças metálicas modulares de seção transversal com o formato de polígono fechado que se encaixam umas nas outras, atingindo assim uma altura aproximada de 60 metros. A vantagem deste suporte é o seu tamanho compacto, com um aspecto visual menos impactante, possibilitando a instalação em canteiros centrais ou em calçadas em avenidas e ruas. Já em tensões superiores ou iguais a 138 kV, utilizam-se normalmente suportes do tipo torre, formado por treliças metálicas modulares, que permitem obter uma estrutura ao mesmo tempo leve e com um bom comportamento mecânico. Este tipo de estrutura, ao contrário dos suportes monotubulares, chega a ultrapassar 100 metros de altura, possibilitando uma maior versatilidade de projeto (Murta, 2015).

3.3.1 Componentes de uma torre de transmissão

Nesta seção serão apresentados os principais componentes de uma torres de transmissão e as suas funções.

3.3.1.1 Cadeias de Isoladores

Em linhas de transmissão aérea existe um elemento que tem o objetivo de atuar no isolamento, ou seja, não permitir o contato elétrico entre os perfis da torre e o cabo-fase, chamado de cadeia de isoladores (Figura 4). De forma resumida, este componente da linha é composto por isoladores que são instalados em conjunto, que juntamente com as ferragens, dão sustentação e isolamento ao cabo-fase em relação à torre (Chaves, 2004).

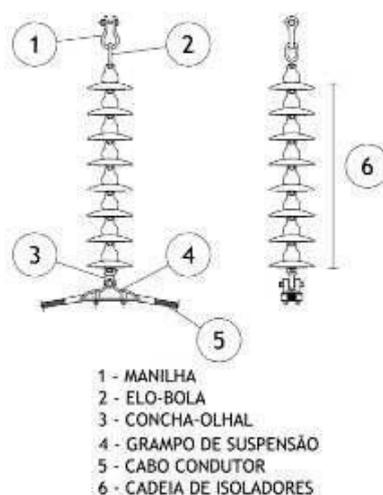


Figura 4 - Exemplo de cadeia de suspensão simples (Murta, 2015).

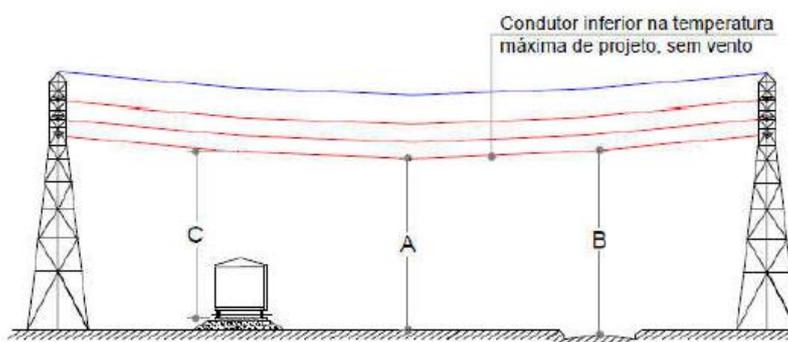
O dimensionamento da cadeia de isoladores é feito através de informações básicas captadas na fase inicial do projeto da linha. Ela é construída para suportar cargas mecânicas transmitidas pelo cabo-fase e as solicitações elétricas em eventuais sobretensões. Normalmente os isoladores que compõe a cadeia podem ser feitos de vidro, porcelana ou materiais poliméricos (Chaves, 2004).

3.3.1.2 Cabo fase ou cabo condutor

Para que ocorra a transmissão de energia elétrica entre as usinas de geração e as centrais de distribuição é utilizado o cabo-fase, ou também chamado de cabo condutor. Este

cabo é considerado o elemento ativo de uma linha de transmissão, pois tem como objetivo transportar a energia elétrica, podendo trabalhar suspenso ou tracionado, dependendo da função do suporte ao longo da linha. No caso das linhas de transmissão aéreas, os cabos são nus e sem isolamento, podendo ser feitos de alumínio, liga de alumínio-aço e alumínio com alma de aço. A utilização do alumínio se deve a sua abundância, boa condutibilidade e, principalmente, seu baixo custo (Chaves, 2004).

Outro fator que deve ser levado em conta na escolha do tipo de cabo-fase é a flecha máxima do cabo no meio do vão entre torres de uma linha de transmissão, que é influenciada tanto pela temperatura quanto pela distância do vão. Através da determinação desta flecha máxima, utilizando prescrições da norma ABNT NBR 5422:1985, que se obtém a altura mínima do condutor, também chamada de distância cabo-solo, com a finalidade de garantir a segurança da linha e de terceiros. Essa altura é influenciada pela tensão de operação e pelo tipo de uso da ocupação do solo abaixo da linha (conforme a Figura 5).



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

Figura 5 - Alturas mínimas em metros entre o cabo condutor e o solo (CELG, 2010).

3.3.1.3 Cabo para-raios ou cabo guarda

Por se encontrar em ambientes externos, sujeita a intempéris, a linha de transmissão está sujeita a fatores como poluição, vento, chuva e descargas atmosféricas. Com o objetivo de

fazer a proteção dos cabos energizados da linha contra a incidência direta de cargas atmosféricas, existe o cabo guarda, ou também conhecido como cabo para-raios, localizado na parte superior da torre de transmissão. Ele é responsável por fornecer um caminho de menor resistência até o solo para as descargas, diminuindo a chance de desligamentos da linha, que resultaria em interrupções no fornecimento de energia elétrica (Murta, 2015).

3.3.1.4 Sistema de Aterramento

O sistema de aterramento de uma linha de transmissão tem como função permitir o escoamento de cargas ou correntes de descarga até o solo em segurança, impedindo assim a energização do suporte (Murta, 2015).

Segundo Chaves (2004), dependendo do tamanho do campo elétrico no solo provocado por uma sobretensão, o sistema de aterramento pode apresentar falhas, provocando situações indesejadas como o potencial de passo, demonstrado na Figura 6, e o potencial de toque. O potencial de passo é a diferença de potencial que aparece entre dois pontos situadas no solo, distantes por um passo de uma pessoa ou animal.

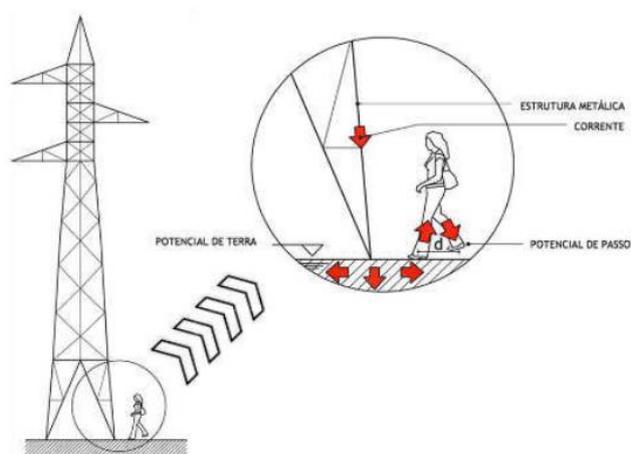


Figura 6 - Potencial de passo (Murta, 2015).

Já o potencial de toque pode ser compreendido como a diferença de potencial que aparece entre um ponto do suporte metálico aterrado que se encontra ao alcance da mão de uma pessoa e o ponto da superfície do solo, tornando o corpo um caminho de descida até o solo para as cargas (Chaves, 2004), vide Figura 7.

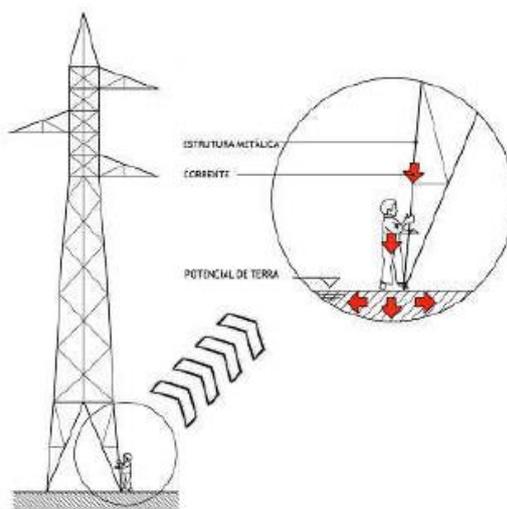


Figura 7 - Potencial de toque (Murta, 2015).

3.3.2 Tipos de Torres de Transmissão

As torres de linha de transmissão e de telecomunicação podem ser classificadas de diversas maneiras. Segundo Chaves (2004), do ponto de vista dos projetos de suas fundações, de forma simplificada, as torres podem ser divididas de três maneiras:

- a) Quanto ao seu sistema estrutural;
- b) Quanto a sua função na linha;
- c) Outros tipos de torres.

3.3.2.1 Quanto ao Sistema Estrutural

Quanto ao seu sistema estrutural, as torres podem ser basicamente divididas em dois grupos: torres autoportantes e torres estaiadas (vide figura 8). As torres chamadas autoportantes são aquelas em que o seu equilíbrio é garantido em função de sua própria estrutura, sem a necessidade de uma subestrutura que contribua com a sua estabilidade, constituem a maioria das torres existentes no Brasil.

As torres estaiadas são aquelas que utilizam estais (cabos tracionados) fixados ao solo numa das extremidades e na outra, no corpo da torre, garantindo assim a sua estabilidade. Normalmente os estais formam um ângulo de 30° com a direção vertical e são fixados nas partes superiores da torre, fazendo com que os pés dos estais fixem-se no solo a distâncias razoáveis do pé da torre. Em terrenos acidentados, as torres estaiadas perdem a sua aplicabilidade em

comparação às autoportantes.

A topografia do traçado da linha de transmissão e o espaço disponível é responsável por determinar o tipo de sistema estrutural utilizado no projeto das torres. As torres estaiadas possuem estruturas mais leves que as autoportantes. As torres autoportantes são mais pesadas, logo possuem um maior custo (que aumenta conforme aumenta a altura da torre).

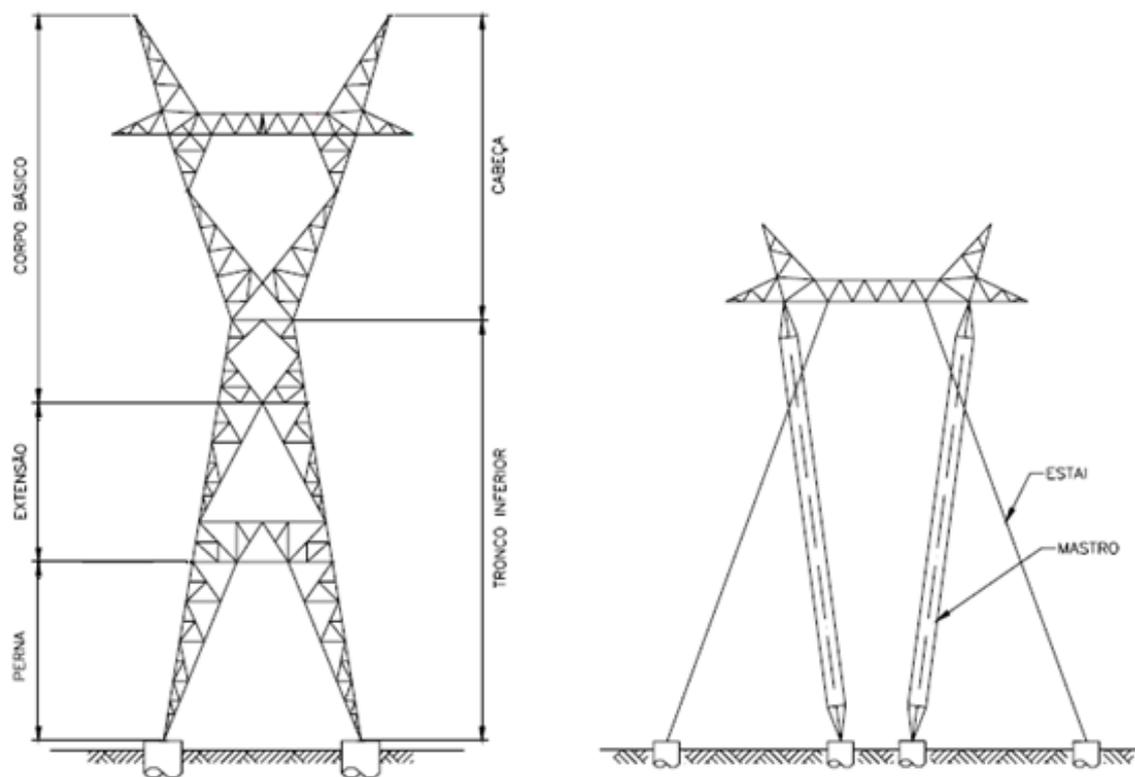


Figura 8 - Silhueta de uma torre autoportante (esquerda) e uma torre estaiada (direita) (Chaves, 2004).

Em torres de telecomunicações são mais utilizadas as torres do tipo estaiadas. Em caso de torres de telefonia, as mais utilizadas são as autoportantes, por ocuparem menos espaços na fundação, que geralmente se encontram em zonas urbanas.

3.3.2.2 Quanto a função na linha

Quanto a sua função em uma linha de transmissão, as torres podem ser divididas em:

- a) Terminais ou fim de linha;
- b) Torres de suspensão;
- c) Torres em ângulo.

As torres terminais, como indica o seu nome, são aquelas utilizadas no início ou fim das linhas de transmissão, a fim de ancorarem os esforços provenientes dos cabos condutores

e para-raios. Essas torres geralmente são autoportantes, com estruturas mais robustas, projetadas para resistirem aos esforços dos cabos em ângulo.

As torres chamadas de suspensão são instaladas em trechos retos ou em trechos com pequenas variações angulares, geralmente menores que 5 graus, podendo ser autoportantes ou estaiadas.

As torres em ângulo são aquelas utilizadas no ponto de mudança de direção do traçado da linha. Também são conhecidas como torres de ancoragem, pois devem resistir às resultantes dos esforços dos cabos nas diagonais das direções entre seus eixos. Normalmente são autoportantes.

3.3.2.3 Outros tipos de torres

Existem também outros tipos de torres, como por exemplo, as monotubulares (Figura 9), que são torres metálicas de seção transversal em forma poligonal fechada. São formadas por tubos modulares que podem se encaixar uns nos outros, alcançando alturas razoáveis (entre 60 e 70m). Essas torres normalmente são utilizadas em linhas de tensões pouco elevadas. Sua principal vantagem é a sua base compacta, que possui diâmetros menores que 2m. Sua aplicação também se dá em iluminação pública e algumas torres de telefonia.

Outro tipo de torre bastante utilizada é a torre de seção transversal constante, também conhecida comercialmente como truss-pole. Por serem bastante compactas, geralmente são utilizadas em linhas onde há pouco espaço disponível.

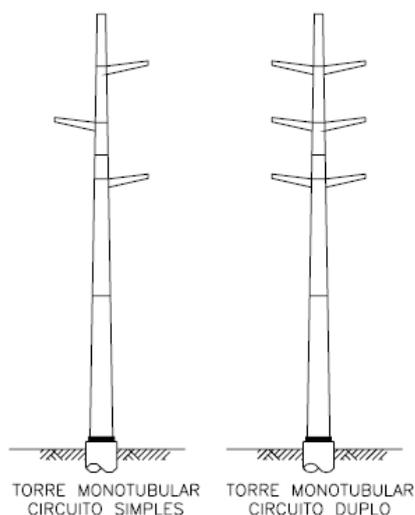


Figura 9 - Perfis de torres monotubulares (Chaves, 2004).

3.3.3 Carregamentos nas torres

As solicitações que atuam sobre a fundação de uma torre são os esforços em que ela está submetida. Os esforços possuem diferentes naturezas e sentidos de atuação vetorial sobre a torre: vertical, longitudinal e transversal. O carregamento no sentido vertical é proveniente da força gravitacional dos componentes da torre: peso da estrutura e suas ferragens, cadeias de isoladores, cabos de circuitos e para-raios. Em relação ao peso dos cabos de circuito toma-se o carregamento proveniente do vão de peso. O vão de peso é considerado como a distância horizontal entre os pontos que possuem tangente horizontal com catenárias dos vãos adjacentes a torre, conforme representado na Figura 10 (Garcia, 2005).

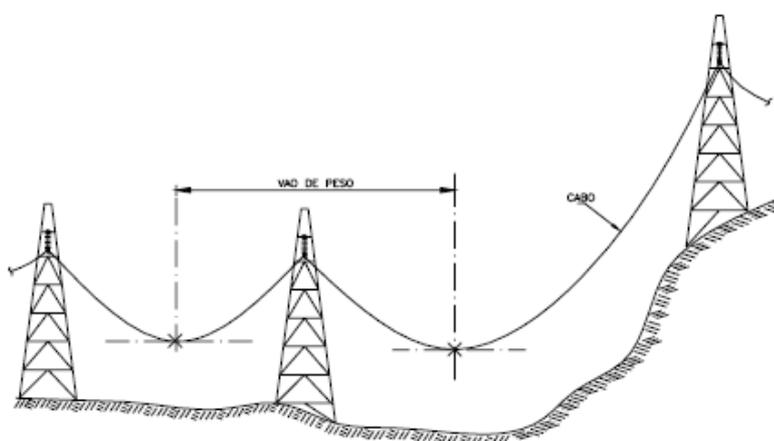


Figura 10 -Vão de peso de uma torre (Chaves, 2004).

Também existem as cargas longitudinais que são consequentes da tração sofrida pelos cabos de circuitos e para-raios. Por fim, existem as cargas transversais a linha de transmissão, que ocorrem devido a ação do vento sobre os componentes da torre ou ainda em torres que tem como função mudar a trajetória da linha de transmissão (Amaral, 2015).

A avaliação da ação dos ventos sobre as linhas de transmissão é regulamentada pela norma brasileira NBR 5422, onde estão descritos os procedimentos a serem seguidos na quantificação das cargas atuantes. Fora o carregamento permanente sobre a torre de transmissão e a ação do vento (Figura 11), as fundações estruturais de linhas de transmissão também devem suportar carregamentos associados a ações periódicas ou possíveis acidentes que possam ocorrer ao longo da vida útil da estrutura, como manutenções ou troca de cabos, montagens da estrutura e possíveis sinistros como rompimentos de cabos e o efeito cascata sobre a linha de transmissão (Chaves, 2004).

Segundo Gontijo (1994) e Chaves (2004), as torres de transmissão e suas fundações devem garantir estabilidade mediante fatores climáticos e propagação de falhas e devem se submeter a quatro hipóteses básicas:

- Vento máximo em qualquer direção sem que ocorra a ruptura dos cabos;
- Vento com velocidade reduzida com a ruptura de um cabo do para-raios;
- Vento com velocidade reduzida, com a ruptura de um cabo condutor;
- Cargas devidas à construção ou montagem com lançamento dos cabos condutores e para-raios.

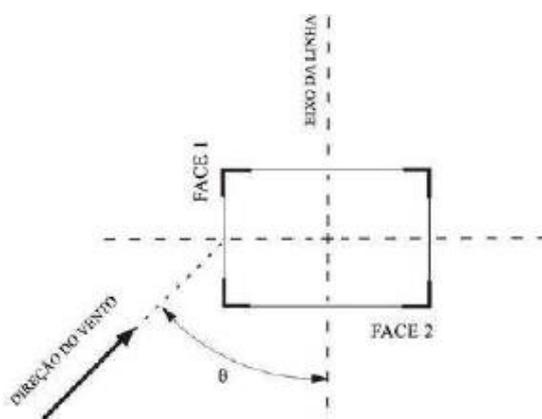


Figura 11 - Ação do vento sobre o tronco de uma torre (Chaves, 2004).

3.3.4 Ligação entre a torre e a fundação

Ao contrário das fundações usuais da construção civil, as fundações de torres autoportantes não possuem a armadura de arranque. A ligação da fundação com a superestrutura é feita por meio de uma cantoneira metálica que possui aletas responsáveis por uma melhor ancoragem no concreto, conforme representado na Figura 12, esta peça é denominada *stub* (Garcia, 2005).

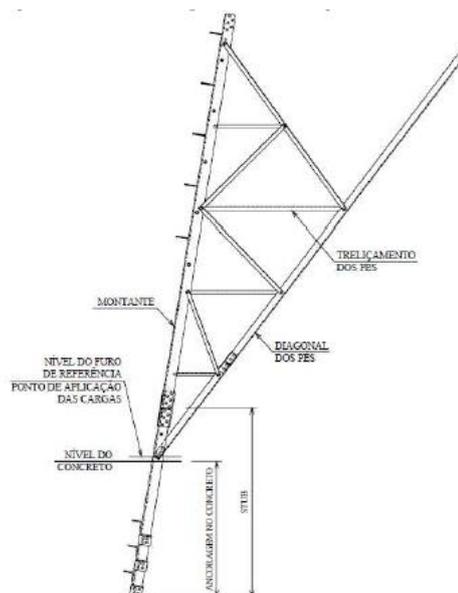


Figura 12 - Ligação entre a torre autoportante e a sua fundação (Garcia, 2005)

3.4 Fundações para torres de transmissão de energia

As fundações são estruturas responsáveis por transmitir os carregamentos oriundos da superestrutura para o solo de forma que não ocorra uma sobrecarga excessiva. Uma possível sobrecarga resultaria em deformação excessiva do solo (recalque) ou cisalhamento do solo subjacente. As fundações são divididas em dois grupos: diretas (também conhecidas como rasas ou superficiais) e fundações profundas. Segundo a NBR-6122:2010, o que difere um grupo do outro é a razão de profundidade de assentamento com a menor dimensão da base da fundação, se esta for maior duas vezes ou mais, é considerada profunda (Garcia, 2005).

3.4.1 Fundações superficiais

São as fundações em que a carga da estrutura da edificação é transmitida ao solo pelas pressões distribuídas pela base da fundação. Deve ser assentada em profundidade inferior ao dobro de sua menor dimensão em planta, sendo esta no mínimo de 60 centímetros. De acordo com a NBR 61122/2010 quando a fundação direta for realizada próximo a divisa com terrenos vizinhos a profundidade do elemento não pode ser menor do que 1,5m, salvo quando for assentada sobre rocha (Azevedo, 2011).

As principais fundações diretas são sapatas, vigas de fundação ou baldrame, blocos e radier, conforme a Figura 13. Devido ao escopo do presente trabalho, somente serão abordadas as sapatas, as quais em geral são as únicas empregadas em torres de transmissão de energia.

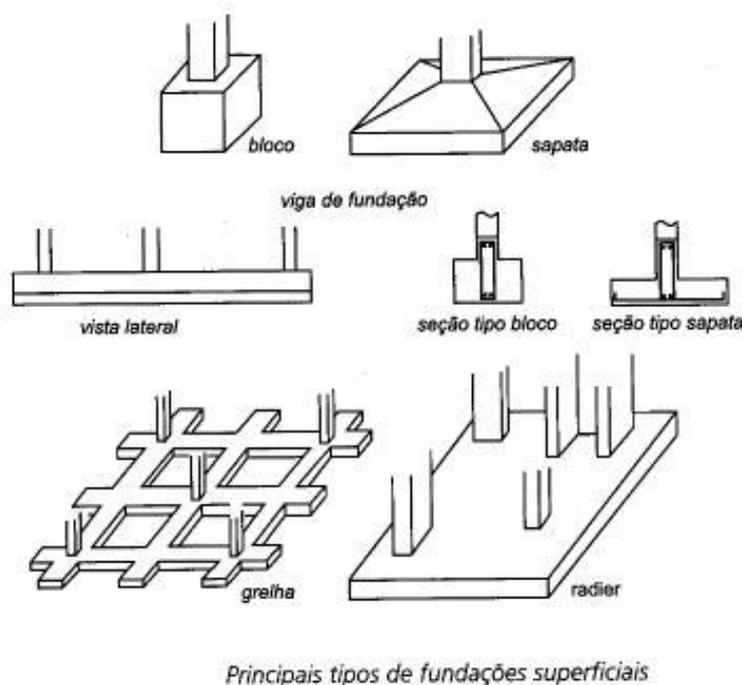


Figura 13 - Principais tipos de fundações superficiais (Garcia, 2005).

3.4.1.1 Sapatas

São elementos de fundação caracterizados pelo uso do concreto armado. A sua base em planta pode ter formato quadrado, retangular ou trapezoidal. Geralmente são recomendadas para solos com boa capacidade de suporte. Ao serem utilizadas em torres de linha de transmissão, são assentadas em profundidades pequenas, entre 2,0 e 3,0 metros, devido à dificuldade de escavação, portanto não são recomendadas em áreas sujeitas à erosão (ASHCAR, 1999).

Quando utilizada como base de torres autoportantes, os fustes (corpo de uma coluna) podem ter a mesma inclinação dos pés da torre. Isto dá uma vantagem geométrica que permite com que o ponto de aplicação dos esforços oriundos dos pés das torres coincida com o centro da sapata, garantindo uma amenização do momento fletor. Ao término da execução da sapata deve-se voltar a atenção ao seu reaterro, pois a qualidade de compactação deste influenciará na resistência ao arrancamento (Garcia 2005).

3.4.2 Fundações profundas

De acordo com Azevedo (2011), são aquelas em que a carga proveniente da superestrutura é transmitida por meio da resistência de ponta para a fundação. De acordo com a norma, este tipo de fundação deve possuir profundidade superior ao dobro de sua menor dimensão em planta e no mínimo 3 metros. Se dividem em estacas, tubulões e caixões.

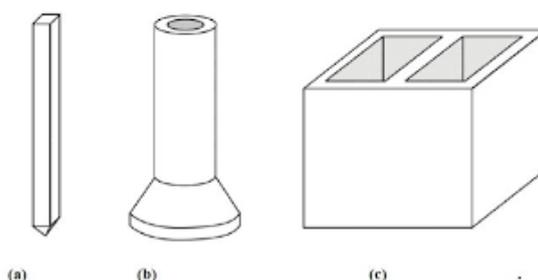


Figura 14 - Fundações profundas: a) estacas, b) tubulões e c) caixões (Pereira, 2016).

3.4.2.1 Estacas de fundação

Segundo Azevedo (2011), são elementos de fundação profunda executados por equipamentos e ferramentas, sendo cravadas ou perfuradas, caracterizadas por grandes comprimentos e seções transversais pequenas. Neste tipo de fundação não há a necessidade de descida do operador. As estacas podem ser feitas de madeira, aço, concreto pré-moldado, concreto moldado ou mistos. Se dividem em estacas de descolamento e estacas cavadas.

3.4.2.2 Estacas de descolamento

As estacas de descolamento são aquelas inseridas no solo sem retirada prévia de material. Não há escavação. Os elementos de fundação serão cravados por percussão, vibração ou prensagem. Diferenciam-se dos outros tipos de estaca, por não remover o solo do local de instalação.

O descolamento potencializa a resistência obtida entre estacas e solo, uma vez que a cravação ocasiona tensões lateralmente em função da compressão de partículas. As estacas podem ser pré-fabricadas ou moldadas *in loco* (Pereira, 2016).

Suas principais vantagens são:

- Alta produtividade;
- Monitoração das estacas;
- Baixíssima remoção de solo;
- Dispensa a necessidade de máquinas auxiliares;
- Melhor condições de atrito por conta das tensões laterais maiores;
- Menor volume das estacas.

3.4.2.3 Estacas escavadas

Conforme Azevedo (2011), são aquelas com a ocorrência da retirada do material em sua perfuração no solo. São moldadas *in loco* e podem ou não possuir revestimento, com ou sem a utilização de fluido estabilizante. Suas principais vantagens são:

- Ausência de vibração no terreno por conta da escavação ser feita por rotação, podendo ser feita próximas à divisas, sem causar problemas com possíveis vizinhos.
- Conhecimento de todas as camadas a serem atravessadas do solo mediante a coleta de amostras.
- Grande mobilidade e versatilidade.
- Profundidades e cargas maiores.
- Possibilidade de utilização mesmo com presença de água utilizando revestimentos.

3.4.2.4 Estacas do tipo raiz

Podem atingir profundidade maior que 50 metros e possuir diâmetros entre 80 a 500 mm, podendo ser utilizadas tanto em solo quanto em rochas. São estacas *in loco*, ou seja, construída no canteiro de obras de acordo com o projeto de fundação. São caracterizadas pela utilização de perfuração rotativa ou rotopercurssiva, utilizando o auxílio de fluido estabilizante (lama bentonítica ou polímero sintético) ou não, são as principais substitutas dos tubulões a ar comprimido. Em sua execução são utilizados tubos de revestimento metálico em todo o trecho do solo após a escavação para evitar riscos de desmoronamento. A argamassa utilizada é adensada com o auxílio da pressão normalmente dada por um sistema de ar comprimido (Pereira, 2018).

Segundo Nogueira (2004), são muito utilizadas na construção de linhas de transmissão e em fundações que se encontram em locais de difíceis acessos, permitindo um deslocamento rápido e econômico do equipamento utilizado entre as diversas torres (não sendo necessário a utilização de bate-estacas tradicionais). Já Matias (2018) destaca em seu trabalho a grande versatilidade deste tipo de fundação, o que contribui para ser uma das mais utilizadas em linhas de transmissão, que muitas vezes atravessam locais de mata e terrenos rochosos. Por conta da grande aplicabilidade deste tipo de fundação em torres de linhas de transmissão, o foco deste trabalho será em levantar principalmente os seus impactos ambientais, com o objetivo de minimizá-los através de uma nova proposta de fundação.

As principais vantagens da estaca raiz são:

- Eliminação de vibração e descompressão do terreno, podendo ser utilizada próximo de construções vizinhas;
- Execução em espaços limitados por conta de o equipamento utilizado ser de pequeno e médio porte;
- Utilização em terrenos com a presença de matacões (massa de rocha saliente em encostas), concreto e outras matérias rígidas;
- Possibilidade de combater esforços de flexão;
- Execução em inclinações de 0 a 90°;
- Baixa poluição sonora.

Já como desvantagem, podemos citar:

- Custo relativamente alto;
- Alto consumo de cimento;
- Alto consumo de ferragem para as armaduras;
- Grande impacto ambiental (relacionado principalmente à lama bentonítica);
- Grande consumo de água.

A Figura 14 apresenta a execução esquemática de fundação em estaca raiz.

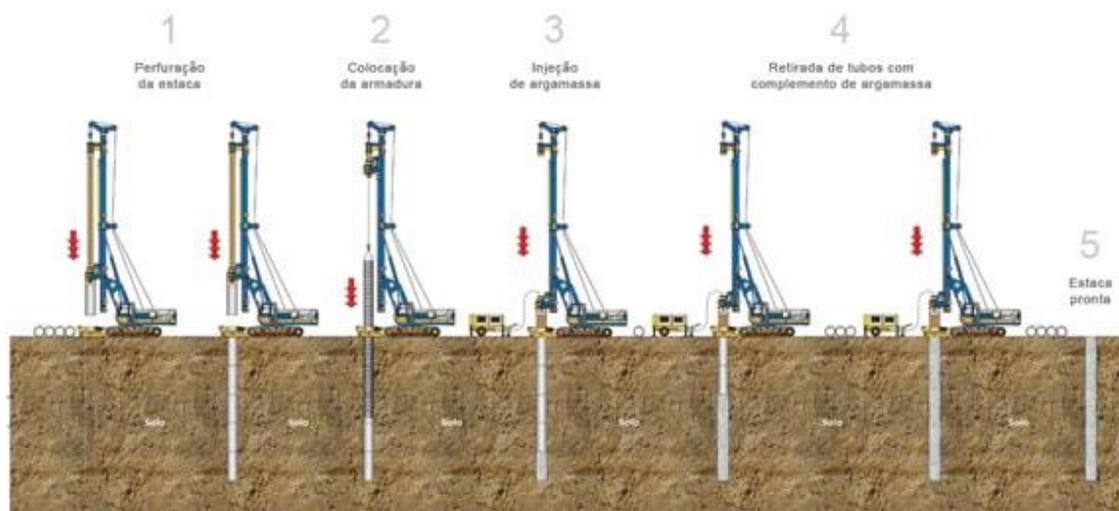


Figura 15 - Execução de fundações em estaca raiz (Pereira, 2018).

3.4.2.5 Tubulões

São elementos de fundação profunda com formato cilíndrico que em sua instalação necessita de descida do operário até sua base. Eles podem ou não ter base alargada e serem executados com ou sem revestimento. Seu comprimento total varia de 3 a 10 metros, de acordo com as características do solo em que é embutido e dos carregamentos na superestrutura (ASHCAR, 1999). Segundo Chaves (2004), é muito utilizado em linhas de transmissão devido ao seu baixo custo. Isto acontece devido ao pequeno volume de escavação que se tem em relação a outras fundações, a inexistência de reaterro, ao mínimo consumo de fôrma, pequena interferência no meio, recomposição vegetal reduzida ou até mesmo inexistente. Uma outra vantagem desta fundação é a proteção proporcionado a sua cantoneira de ancoragem, conhecida como stub, devido ao cobrimento de concreto capaz de envolvê-lo. Segundo Pereira (2016), eles podem ser divididos em tubulões a céu aberto e tubulões a ar comprimido.

3.4.2.5.1 Tubulões a céu aberto

São elementos estruturais de fundação construídos através da concretagem de um poço aberto no terreno, geralmente composto de uma base alargada, conforme ilustrado na figura 15. Trata-se de uma fundação profunda, escava de forma manual ou mecânica. É empregado acima do lençol freático, ou abaixo, em casos onde o solo se mantenha estável e sem riscos de desabamentos. Dependendo da carga, o tubulão pode ou não ser armado. (Pereira, 2016).



Figura 16 - Execução de tubulão a céu aberto (Pereira, 2016).

3.4.2.5.2 Tubulões a ar comprimido

São fundações profundas escavadas de forma manual ou mecanizada, quando há a necessidade de ser realizado embaixo do nível da água, conforme mostrado na figura 16. Possui revestimento de aço ou concreto para o auxílio da escavação do fuste. Pode ou não possuir base alargada, necessitando de descida de pessoal para sua execução. Tais fundações devem ser executadas com cuidado e atenção por conta da utilização de ar comprimido, atendendo aos requisitos contidos na NR 18 (Azevedo, 2011).

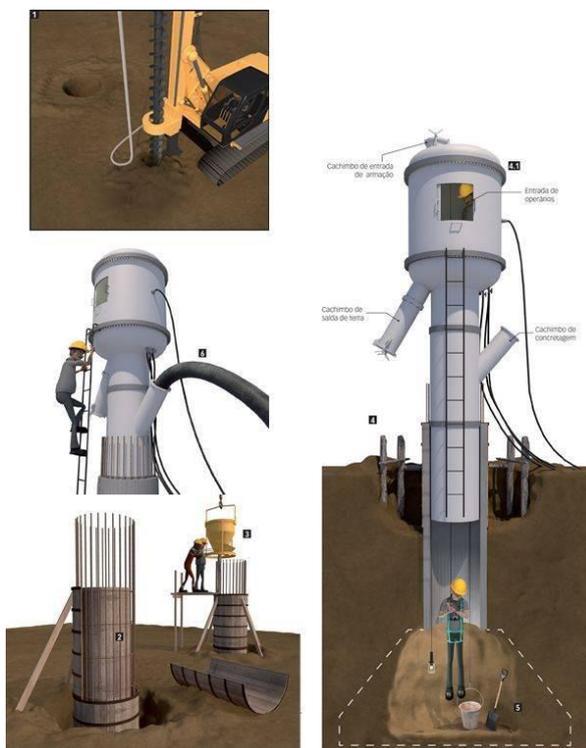


Figura 17 - Execução de tubulão a ar comprimido (Pereira, 2016).

3.5 Fluidos de perfuração

Um fluido de perfuração, ou lama, é qualquer fluido utilizado em operações de perfuração, onde o mesmo é circulado ou bombeado da superfície até o fundo da coluna de perfuração, por meio da broca, e retorna à superfície pelo espaço anular (ASME, 2010). Segundo Lima (2015), o fluido satisfaz necessidades como:

- Suspender os sólidos removidos, tirando-os do fundo do poço e transportando-os para a superfície;
- Selar formações permeáveis;
- Arrefecer, lubrificar e apoiar o conjunto de perfuração;
- Transmitir energia hidráulica para as ferramentas;
- Diminuir danos ao reservatório;
- Controlar a corrosão;
- Permitir adequada avaliação das formações;
- Diminuir os impactos ambientais;
- Inibir a formação de hidratados de gás;
- Facilitar a cimentação e o preenchimento.

Dentre as funções citadas dos fluidos de perfuração, a mais crítica é a retirada dos sólidos cortados ao redor da broca e através do espaço anular. Caso os detritos não sejam removidos a lama começa a perder sua habilidade de limpar o poço e criar uma camada protetiva na parede. Para que se haja uma reciclagem em campo, os detritos devem ser removidos continuamente e com eficiência (Lima, 2015).

3.5.1 Classificação dos fluidos de perfuração

Os fluidos de perfuração podem ser classificados dependendo do seu constituinte principal, podendo ser à base de gás, óleo ou água (Caenn, Darley e Gray, 2011). Já outros autores como ASME (2010) e Pereira (1998) ainda consideram um outro tipo de fluido, o chamado sintético, que é o mais relativamente novo. A tabela 1 apresenta os tipos de fluido de perfuração.

Quadro 1: Classificação dos fluidos de perfuração

Fonte: Adaptado de Lima (2015).

Gás	Água	Óleo
<i>Gás seco:</i> Ar, Gás Natural, Gases de Escape, Gás de Combustão	Água Doce	Óleo: Diesel ou Bruto
<p><i>Névoa:</i> Gotículas de água ou lama transportadas no vapor de ar.</p> <p><i>Espuma:</i> Bolhas de ar cercadas por uma película contendo surfactante estabilizados de espuma.</p> <p><i>Espuma Estável:</i> Espuma contendo materiais de fortalecimento de película, como polímeros orgânicos e bentonita.</p>	<p><i>Solução:</i> sólidos não se separam da água após longos períodos de repouso.</p> <p>Sólidos na solução com água incluem:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Sais, como cloreto de sódio e cloreto de cálcio. 2. Surfactantes, como detergentes e floclulantes. 3. Coloides orgânicos, como celulose e polímeros acrílicos. <p><i>Emulsões:</i> Líquido oleoso mantido em pequenas gotículas na água por um agente emulsionante, como óleo diesel.</p> <p><i>Lama:</i> Uma suspensão de sólidos (argilas, barita, pequenas partículas cortadas) em qualquer um dos líquidos citados, com aditivos químicos necessários para modificar propriedades.</p>	<p><i>Lama a base de óleo:</i> Fluido de perfuração estável que contem:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1- Agentes de água-emulsificantes; 2- Agentes suspensos; 3- Agentes de controle de filtração. <p>Contem recortes de formação perfuradas.</p> <p>Pode conter barita para aumentar a densidade.</p>

3.5.1.1 Fluidos a base de água

A definição de um fluido a base de água considera principalmente a natureza da água e o tipo de aditivos químicos usados no seu preparo. A interação e proporção entre os componentes provocam diversas alterações nas propriedades físicas e químicas do fluido (Melo, 2008).

A água é o principal componente, podendo ser doce, dura ou salgada. Água doce é caracterizada por possuir menos de 1000 ppm de NaCl equivalente. Para fins industriais, não necessita de tratamento prévio pois praticamente não altera o desempenho dos aditivos utilizados. Água dura por sua vez é toda água com presença de sais de cálcio e magnésio em concentrações suficientes para que haja alteração no desempenho de aditivos químicos. Já para que a água possa ser considerada salgada, deve possuir salinidade superior a 1000 ppm de NaCl equivalente, podendo ser natural como a água do mar ou salgada artificialmente, com NaCl, KCl, CaCl₂ (Lima, 2015).

A água tem como função principal prover o meio de dispersão para os materiais coloidais. Esse por sua vez, principalmente argilas e polímeros, controlam a viscosidade, limite de escoamento, forças géis e filtrado em valores adequados para atribuir ao fluido uma boa remoção dos sólidos perfurados e capacidade adequada de estabilização das paredes do poço.

Segundo Shiroma (2012), os fatores que devem ser levados em consideração na seleção da água de preparo são a disponibilidade, custo de transporte e tratamento, produtos químicos a serem utilizados, tipos de formações geológicas que serão perfuradas e técnicas a serem usadas na avaliação das formações.

Os fluidos à base de água são classificados da seguinte forma (Amorim, 2003):

- Não dispersos: fluidos de água e argila, os fluidos naturais e outros levemente tratados. Utilizados em poços de profundidades pequenas e nas primeiras fases de perfuração. Não são utilizados aditivos para dispersar os sólidos e partículas de argila.
- Dispersos: com o aumento da profundidade do poço, aumenta-se a quantidade de sólidos gerados. Como estes sólidos não são removidos totalmente pelo sistema, são moídos e incorporados ao fluido, que inicialmente é composto por água e bentonita, alterando assim a sua viscosidade. Adicionam-se defloculantes e redutores de filtrado para obter-se a dispersão dos sólidos e controle de viscosidade.

- Poliméricos: são compostos por polímeros de alto peso molecular, responsáveis por desenvolver a viscosidade. Normalmente possuem pequenas quantidades de bentonita, os polímeros mais utilizados são poliacrilamida, celulose e produtos a base de gomas naturais.
- Tratados com cálcio: utilizados em perfurações onde problemas de desmoronamento e, por consequência, alagamentos do poço acontecem com frequência, pois tais fluidos não comprometem a formação geológica. Os principais compostos utilizados são: hidróxidos de cálcio, sulfato de cálcio e cloreto de cálcio, além de água e bentonita.
- Baixo teor de sólidos: são aqueles em que a concentração volumétrica de sólidos é menor que 10%. São compostos em sua maioria por água, quantidades variáveis de argilas bentoníticas e polímeros. Podem utilizar aditivos para controle reológico do fluido.
- Sistema de água salgada: se encontram nesta classe os fluidos saturados de sal e fluidos de água salgada: Os fluidos saturados de sal têm concentrações de sais próximas a 190.000 mg/L e são utilizados para perfuração de formações salinas, já os fluidos de água salgada possuem quantidade de sais entre 10.000 mg/L e 190.000 mg/L.

3.5.1.2 Fluidos a base de óleo

Segundo Caenn, Darley e Gray (2011), a criação dos fluidos de perfuração a base de óleo ocorreu para que certas características indesejadas das lamas à base de água fossem superadas. Tais deficiências ocorrem primeiramente devido às propriedades da água: mais especificamente a sua capacidade para dissolver sais; interferir no fluxo de óleo e gás através de rochas porosas; promover desintegração e dispersão das argilas e corrosão no ferro. Fluidos a base de óleo oferecem melhores qualidades de lubrificação, maior ponto de bulição e menor ponto de congelamento. Um dos principais pontos negativos dos fluidos à base de óleo é o seu descarte no meio ambiente, pois seus compostos, por possuírem grandes quantidades de diesel e óleos minerais, tendem a persistir por muitos anos no meio ambiente, podendo prejudicar a abundância e diversidade biológica, além de contaminar os recursos naturais, como o solo e corpos hídricos. Outro ponto negativo é o elevado custo, se comparado aos fluidos a base de água com a mesma densidade. A principal justificativa para a utilização deste fluido é o seu desempenho superior aos demais (BURKE, 1995).

3.5.1.3 Fluidos a base de ar

Possui como fluido circulante o ar ou gás, em todo ou parte, na perfuração rotativa. Recomenda-se a utilização de tais fluidos de baixa intensidade em situações como em zonas de perdas de circulação severas e formações produtoras com pressão muito baixa ou grande susceptibilidade a danos, também em formações muito duras como no basalto ou diabásio, em regiões com pouca água ou com camadas grossas de gelo (Shiroma, 2012).

Na perfuração feita com ar puro, é utilizado apenas ar comprimido ou nitrogênio como fluido, tendo como limitação a aplicação apenas a formações que não produzam grandes quantidades de água e nem possuam hidrocarbonetos. Essa técnica é aplicável a formações duras, estáveis ou fissuradas, com o objetivo de aumentar a taxa de perfuração.

A perfuração com névoa (mistura de água dispersa no ar) é utilizada em formações que produzem água em quantidade suficiente para atrapalhar a perfuração a ar puro. Geralmente é utilizada em conjunto com a perfuração com ar.

A espuma é uma dispersão de gás em líquidos, onde a fase contínua é composta por um filme delgado de uma fase líquida, estabilizada através de um tensoativo específico, chamado de espumante. Utiliza-se a espuma como fluido quando se necessita de um carregamento de sólidos eficientes, pois a mesma possui alta viscosidade.

Os fluidos areados são utilizados quando se necessita perfurar com um gradiente de pressão intermediário aos fornecidos pelos fluidos mais convencionais e as espumas. Consiste na injeção de ar, nitrogênio ou gás natural no fluxo contínuo do fluido de perfuração, causando uma diminuição da densidade do sistema. Recomenda-se a utilização da perfuração com fluido aerado em regiões com perda de circulação severa (Lima, 2015).

3.5.1.4 Fluidos Sintéticos

Os fluidos sintéticos (ou SBF – Synthetic Based Fluid) estão entre os fluidos não aquosos, também chamados a base de óleo. Eles surgiram da necessidade tecnológica da exploração de petróleo em águas profundas e ultra profundas, além da necessidade ambiental de um desenvolvimento sustentável. Desta forma, os fluidos sintéticos são uma resposta às necessidades de fluidos que tivessem características semelhantes aos a base de óleo, porém causando menos impactos ambientais, sendo menos tóxicos e mais biodegradáveis (Silva, 2014).

O termo fluido sintético significa que o óleo dispersante é uma substância química específica, purificada por meio de processos de separação química, nos quais é possível obter substâncias com teores menores do que 0,001% de hidrocarbonetos poliaromáticos, diferentemente dos óleos minerais e diesel, que são produzidos por meio de processos de separação física. Os SBF mais utilizados pela indústria são fabricados a partir de hidrocarbonetos lineares, ou n-parafinas, olefinas lineares, poli-alfa-olefinas e olefinas internas, ésteres, éteres e acetais. (International Association of Oil and Gas Producers, 2003).

Como principais vantagens relacionadas aos fluidos sintéticos em comparação aos de base aquosa podemos citar a baixa compatibilidade com as formações reativas (sensíveis a água), maior estabilidade térmica e estrutural, melhor lubrificação, menor taxa de corrosão e maior facilidade de aproveitamento. Os fluidos sintéticos são utilizados para perfurações de folhelhos argilosos e plásticos devido à grande reatividade destes tipos de rocha com a água e em perfurações de formações salinas, como é o caso do pré-sal (CAENN et al, 2011).

3.6 Licenciamento Ambiental de Linhas de Transmissão no Brasil

Previamente à instalação de qualquer empreendimento com potencial poluidor ou degradador é legalmente obrigatório o licenciamento ambiental. As principais diretrizes para execução do mesmo estão expressas na Lei 6.938/81 e nas resoluções CONAMA nº 001/86 e CONAMA nº 237/97. As linhas de transmissão estão enquadradas neste tipo de empreendimento, sendo necessário o seu licenciamento ambiental prévio, considerando o potencial de impacto ambiental (IBAMA, 2019).

3.6.1 Órgão Responsável

A competência municipal, estadual e federal para o licenciamento, tendo como fundamento a localização do empreendimento, é descrita na Lei Complementar nº 140/2011. Ela estabelece, dentre outras coisas, que a União deve promover o licenciamento ambiental de empreendimentos e atividades (IBAMA, 2019):

- a) Localizados ou desenvolvidos conjuntamente no Brasil e em país limítrofe;
- b) Localizados ou desenvolvidos no mar territorial, na plataforma continental ou na zona econômica exclusiva
- c) Localizados ou desenvolvidos em terras indígenas

- d) Localizados ou desenvolvidos em unidades de conservação instituídas pela União, exceto em Áreas de Proteção Ambiental (APA's);
- e) Localizados ou desenvolvidos em dois ou mais estados;
- f) De caráter militar, excetuando-se do licenciamento ambiental, nos termos de ato do Poder Executivo, aqueles previstos no preparo e emprego das Forças Armadas, conforme disposto na Lei Complementar nº 97, de 9 de junho de 1999;
- g) Destinados a pesquisar, lavrar, produzir, beneficiar, transportar, armazenar e dispor material radioativo, em qualquer estágio, ou que utilizem energia nuclear em qualquer de suas formas e aplicações, mediante parecer da Comissão Nacional de Energia Nuclear;
- h) Que atendam tipologia estabelecida por ato do Poder Executivo, a partir de proposição da Comissão Tripartite Nacional, assegurada a participação de um membro do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), e considerados os critérios de porte, potencial poluidor e natureza da atividade ou empreendimento;

Os outros empreendimentos devem ser licenciados por órgãos estaduais, exceto os casos em que o órgão alegue não possuir competência, atribuindo o licenciamento ao poder federal.

3.6.2 Etapas do Licenciamento Ambiental

O licenciamento ambiental federal dos sistemas de transmissão de energia elétrica pode ocorrer por meio de três estudos diferentes, conforme o grau de impacto do empreendimento:

- I. Relatório Ambiental Simplificado (RAS);
- II. Relatório de Avaliação Ambiental (RAA);
- III. Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e o seu respectivo Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), de acordo com o grau de impacto do empreendimento.

O licenciamento ambiental de linhas de transmissão, independentemente do tipo de estudo ambiental, deve compreender as seguintes etapas, conforme portaria MMA 421/11:

- I – Encaminhamento por parte do empreendedor de:

- a) Ficha de Caracterização da Atividade – FCA;
 - b) Declaração de enquadramento do empreendimento como de pequeno potencial ambiental, quando couber;
- II – Emissão do Termo de Referência pelo IBAMA, garantida a participação do empreendedor quando, por este solicitada;
 - III - Requerimento de licenciamento ambiental federal, pelo empreendedor, acompanhado dos documentos, projetos e estudos ambientais;
 - IV – Análise pelo IBAMA dos documentos, projetos e estudos ambientais;
 - V – Realização de vistorias, em qualquer das etapas do procedimento de licenciamento, pelo IBAMA;
 - VI – Realização de reunião técnica informativa ou audiência pública, conforme estabelecido para cada procedimento de licenciamento ambiental federal;
 - VII – Emissão de parecer técnico conclusivo;
 - VIII – Deferimento ou indeferimento do pedido de licença, dando-se a devida publicidade.

3.7 Impactos Ambientais

Com o constante crescimento do setor energético cada vez mais há uma demanda de modificação nas paisagens, ocasionadas pela instalação de novas linhas de transmissão de energia. De acordo com a International Energy Outlook (2016), nos próximos 26 anos, há um crescimento estimado de 48% no consumo mundial de energia, conseqüentemente, haverá uma grande expansão do sistema de transmissão. As linhas de transmissão possuem grandes extensões e geralmente se encontram em ambientes afastados e menos alterados, passando com frequência por locais de conservação da natureza. (Araneo et al. 2014).

Além da presença dos cabos e torres de transporte de energia, as linhas de transmissão interagem com o ambiente através da faixa de servidão (área aberta exigida para a instalação dessas estruturas) que varia de largura conforme a tensão utilizada, podendo chegar a 100 metros, onde a vegetação é suprimida e manejada para promover menor interferência e riscos para as linhas. Embora a largura das faixas de servidão seja de certa forma estreita, a grande extensão das linhas de transmissão causa uma grande transformação no ambiente em que as mesmas se encontram, conforme ilustrado pela Figura 18. O corredor formado, a manutenção e a presença da própria linha são os principais fatores responsáveis pelos impactos ambientais (Biasotto, 2017).

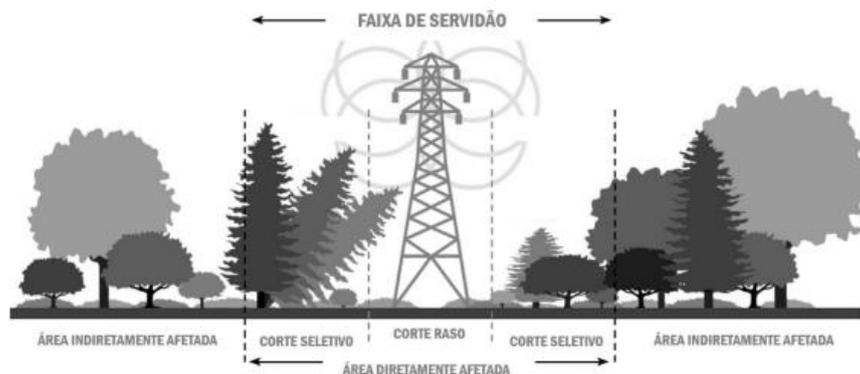


Figura 18 - Faixa de servidão e áreas afetadas diretamente e indiretamente pelas linhas de transmissão (Biasotto, 2017).

Segundo Bagli et al. (2011), linhas de transmissão podem causar impactos ambientais significativos tanto na sua fase de instalação quanto em sua fase de operação, ressaltando assim a necessidade de tais procedimentos passarem por uma análise criteriosa em seus licenciamentos, a Figura 19 mostra alguns destes impactos. Apesar da Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) ter grande importância para a minimização de impactos ambientais, existem autores que defendem que é necessária uma adoção de avaliações preliminares ao licenciamento de projetos individuais, tais como uma Avaliação Ambiental Estratégica (Biasotto, 2017).

De acordo com a Resolução CONAMA 001/1986, impacto ambiental pode ser considerado “qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam (...) a saúde, a segurança e o bem-estar da população; atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente e a qualidade dos recursos ambientais”.

Impactos	Fase		
	Planejamento	Implantação	Operação
Meio Socioeconômico			
IMP 01 - Geração de Expectativas	X		
IMP 02 - Pressão sobre Condição Fundiária	X	X	
IMP 03 - Divergência entre a População e o Empreendedor	X	X	X
IMP 04 - Aumento do Conhecimento Científico sobre a Região	X		
IMP 05 - Aumento da Massa Salarial		X	
IMP 06 - Incremento da Arrecadação Tributária		X	
IMP 07 - Aumento do Risco de Acidentes Rodoviários		X	
IMP 08 - Interferências em Vias de Acesso		X	
IMP 23 - Aumento no Índice de DST, AIDS e outras Doenças		X	
IMP 24 - Aumento da Violência Sexual		X	
IMP 25 - Perda de Áreas Produtivas e Benfitorias		X	X
IMP 26 - Deslocamento Compulsório de Famílias		X	
IMP 27 - Interferência com a Infraestrutura		X	
IMP 28 - Pressão Sobre Serviços Básicos Locais		X	
IMP 29 - Interferências na Qualidade de Vida		X	
IMP 31 - Interferência com Comunidades Quilombolas		X	X
IMP 32 - Pressão sobre a Atividade Turística		X	
IMP 33 - Redução dos Postos de Serviço			X
IMP 34 - Aumento da Confiabilidade do Sistema Elétrico			X
IMP 37 - Receio da População			X
IMP 38 - Risco de Acidente Elétrico			X
Meio Físico			
IMP 09 - Instalação e Aceleração dos Processos Erosivos		X	
IMP 10 - Contaminação do Solo		X	
IMP 11 - Contaminação de Corpos Hídricos e Alteração da Qualidade da Água		X	
IMP 12 - Alteração das Propriedades Físicas do Solo		X	
IMP 13 - Pressão Sobre Patrimônio Espeleológico		X	
IMP 14 - Pressão sobre Sítios Paleontológicos		X	
IMP 15 - Pressão sobre o Patrimônio Arqueológico e Cultural		X	
IMP 16 - Interferência com Atividades Minerárias		X	
IMP 35 - Degradação da Paisagem Cênica			X
Meio Biótico			
IMP 17 - Perda ou Alteração da Cobertura Vegetal		X	X
IMP 18 - Afugentamento da Fauna		X	
IMP 19 - Risco de Acidentes e Morte da Fauna		X	
IMP 20 - Aumento da Caça e Captura de Indivíduos da Fauna		X	X
IMP 21 - Aumento do Risco de Acidentes Causados por Anima		X	
IMP 22 - Aumento da Ocorrência de Doenças de Propagação		X	
IMP 30 - Interferências em Unidades de Conservação e Demais		X	X
IMP 36 - Perda de Indivíduos da Avifauna			X

Figura 19 - Exemplos de impactos ambientais de um linha de transmissão divididos por meio e fase da linha de transmissão Miracema - Saperauçu (adaptado de EIA/RIMA 2013).

CAPÍTULO 4

4. MÉTODOS

Nesta pesquisa, o tema abordado foi: *Análise De Impactos Ambientais Causados Pela Utilização de Estacas do Tipo Raiz na Construção de Linhas De Transmissão De Energia*, cujo objetivo foi estudar os principais impactos ambientais causados na construção desse tipo de empreendimento e propor possíveis alternativas que minimizem os mesmos.

Os procedimentos metodológicos podem ser caracterizados como o conjunto detalhado e sequencial de métodos e técnicas científicas que serão executados ao longo da pesquisa, possibilitando atingir os objetivos que foram propostos, não devendo ser considerado uma receita infalível para a obtenção dos resultados, mas um orientador que facilita o planejamento e investigação (Barreto e Honorato, 1998).

Neste estudo foi utilizado o método dedutivo. Segundo Marconi e Lakatos (2009), duas características básicas do método dedutivo são: se todas as premissas são verdadeiras, logo a conclusão deve ser verdadeira e, toda informação factual da conclusão já estava, pelo menos de forma implícita, nas premissas. O raciocínio dedutivo tem como objetivo explicar o conteúdo das premissas, chegando a uma conclusão.

Desta forma, para se porpor alternativas com menos impactos ambientais, torna-se necessário inicialmente levantar os principais impactos ambientais decorrentes deste tipo de atividade e suas principais causas, deste modo, a partir do método de raciocínio dedutivo é possível trabalhar em minimizar as causas e conseqüentemente mitigar tais impactos.

Então, com base na problemática levantada e na fundamentação teórica, segue a apresentação de forma detalhada do contexto de métodos que serão utilizados com a finalidade de desenvolver os objetivos propostos.

4.1 Natureza da Pesquisa

Partindo do problema da pesquisa, a sua natureza pode ser teórica (ou pura), aplicada (empírica) ou teórico-aplicada. Este trabalho se classifica como uma pesquisa aplicada, pois tem como objetivo gerar conhecimento para futuras aplicações práticas, direcionadas à resolução de problemas de grande relevância. Este tipo de pesquisa se baseia em conhecimentos teóricos aplicados a solução de problemas (Gil, 2010).

Segundo Salomon (2010), este tipo de pesquisa visa resolver um problema prático ou

concreto, através da aplicação de teorias já elaboradas. Já segundo Fleury e Werlang (2017), este tipo de pesquisa busca reconhecer e responder problemas inquiridos pelas organizações, instituições, sociedade, grupos sociais, comunidades etc., empenhando-se na construção de diagnósticos, com o propósito de encontrar soluções.

Desta forma, de acordo com as definições apresentadas, a utilização da pesquisa aplicada na área da Engenharia de Produção é possível devido às características práticas direcionadas a resolução de problemas pontuais (Gil, 2010).

4.2 Objetivos da Pesquisa

Quando ao objetivo, este estudo é uma pesquisa exploratório-descritiva, pois descreve o comportamento dos fenômenos. Este tipo de pesquisa possibilita maximizar os conhecimentos a respeito de um determinado fenômeno ou problemática, identificando os seus padrões (Collis e Hussey, 2005).

A escolha do objetivo exploratório se justifica pois há uma necessidade de buscar-se um conhecimento mais profundo do assunto. As pesquisas exploratórias têm como objetivo criar uma maior familiaridade do pesquisador com o tema, promovendo uma visão geral do problema investigado. Por meio desta pesquisa serão levantados os principais impactos ambientais ocasionados pela construção de linhas de transmissão e quais deles poderiam ser minimizados (ou excluídos) (Gil, 2010).

Quanto aos objetivos, este trabalho de pesquisa também é descritivo, pois procura descrever o comportamento de um fenômeno, exigindo levantamento de uma série de informações a respeito dos objetos investigados. (Richardson, 1999).

4.3 Abordagem da Pesquisa

Quanto a sua abordagem, esta pesquisa é qualitativa. A intenção de se escolher este tipo de pesquisa é garantir a precisão dos resultados, evitando possíveis distorções e maior segurança às hipóteses. Uma pesquisa qualitativa é apropriada para a avaliação formativa, buscando melhor o funcionamento de um programa, plano, ou até mesmo propondo novas ações e planos, além de permitir ao pesquisador o estudo de casos ou eventos em profundidade e de forma detalhada (Richardson, 1999). Nesse caso, este tipo de abordagem é ideal, pois busca-se, com base no levantamento dos impactos ambientais da construção de torres de transmissão de energia, um novo modelo de fundação para substituir os utilizados tradicionalmente.

4.4 Procedimentos da Pesquisa

Inicialmente foi realizado um levantamento bibliográfico, através de livros e artigos científicos, além de Estudos de Impacto Ambiental e Relatórios de Impacto Ambiental. Foram priorizados materiais recentes, preferencialmente do ano de 2015 a 2021, em sua maioria de língua inglesa, onde a base de dados utilizada foram os periódicos da CAPES e o Google Acadêmico. As palavras-chave utilizadas na pesquisa foram: Linhas de Transmissão, Torres de Transmissão de Energia, Fundações de Torres de Transmissão, Impactos Ambientais em Linhas de Transmissão de Energia e Fluido de Perfuração. Alguns materiais fora destes parâmetros foram utilizados, principalmente para dar o suporte aos conceitos teóricos.

Após o levantamento bibliográfico, com base nos materiais encontrados, foram definidos os principais impactos ambientais ocasionados pela construção de linhas de transmissão, além de relatórios de impactos ambientais de obras realizadas no Brasil. Em seguida, discute-se quais destes impactos podem ser reduzidos ou extintos com a implantação de alternativas menos agressivas.

CAPÍTULO 5

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após uma pesquisa bibliográfica tomando como fontes artigos científicos, dissertações de mestrado e alguns Estudos de Impactos Ambientais – EIA's foram levantados alguns impactos ambientais relacionados à construção de linhas de transmissão de energia, os quais são apresentados no Quadro 2, juntamente com as suas principais causas e grau de interferência. Eles serão descritos nos tópicos a seguir.

Quadro 2 – Matriz de impactos ocasionados pela construção de linhas de transmissão.

Fonte: adaptado de EIA/RIMA Miracema - Saperaçu (2013), Biasotto (2017), IBAMA (2009), EIA/RIMA Rio Sul – Indaial (2019), RIMA Petrobrás (2013).

		Principais Causas					
		Desmatamento relacionado à faixa de servidão	Transporte de corrente elétrica	Meios de transporte utilizados na fase de construção	Movimentações no solo	Fluido de perfuração utilizado na estaca raiz	Geração de novos postos de trabalho
<p>Natureza do Impacto P (positivo) N(negativo)</p> <p>Possibilidade de Ocorrência C - Certa Pr- Provável In- Incerta</p> <p>Pequena Interferência Média Interferência Grande Interferência</p>							
Principais impactos ambientais	Efeito barreira	N/C					
	Efeito borda	N/C					
	Efeitos do campo eletromagnético		N/C				
	Riscos de incêndio	N/Pr	N/Pr				
	Efeito sonoro		N/Pr	N/Pr	N/In		
	Poluição do ar			N/C			
	Interferência no solo	N/C		N/C	N/C	N/C	
	Contaminação da água			N/Pr		N/C	
	Geração de expectativas						N/Pr
	Impacto sobre a infraestrutura local						P/C
	Aumento do índice de DST's e outras doenças						N/Pr
	Aumento da massa salarial e arrecadação tributária						P/C

Tendo em vista que o escopo principal desta pesquisa são as fundações de linhas de transmissão, alguns dos impactos não serão relevantes, pois os mesmos não podem ser reduzidos (ou até mesmo excluídos) com a utilização de um novo modelo ou melhorias nos processos de implantação de fundação, deste modo, para estes será feita uma breve descrição.

5.1 Efeito Barreira

De acordo com Colman et al. (2012), a presença de uma estrutura nova em uma paisagem, como uma linha de transmissão, representa um obstáculo físico para alguns indivíduos, podendo ocasionar, por exemplo, colisões de aves com as linhas de energia. Diversos autores tratam deste impacto relacionando ao declínio populacional de diversas espécies, inclusive ameaçadas de extinção. Tere e Parasharya (2011), destacam que os efeitos de linhas de transmissão acumulados com outras fontes de mortalidade podem se manifestar apenas décadas depois, dificultando assim uma possível reversão.

Alguns indivíduos podem responder à presença da barreira alterando o seu comportamento, evitando cruzar a mesma. Segundo Santiago-Quesada et al. (2014), as linhas de transmissão podem influenciar a escolha do local de reprodução e de descanso de aves migratórias. Alguns autores, como Bartzke et al. (2014) sugerem que a faixa de servidão pode alterar a densidade populacional de alguns mamíferos, tendo em vista que ela torna o habitat mais exposto, facilitando a predação deles. Outro problema muito citado nas EIA's é o atropelamento da fauna nas estradas de acesso durante a implantação das linhas de transmissão, ocasionado pelo fluxo de maquinário e automóveis.

5.2 Efeito de Borda

Tem como causa a supressão vegetal para a criação e manutenção da faixa de servidão, ocorrendo tanto na fase de operação quanto de implantação das linhas de transmissão. Segundo os estudos de Pohlman et al. (2009), as clareiras abertas para a construção de infraestruturas de linhas de transmissão podem reduzir a disponibilidade de habitat nas matas. Já os estudos de Berg et al. (2011) observaram que os efeitos de bordas também podem ocasionar impactos positivos, como o aumento da população de certas espécies de borboletas, tendo em vista que as bordas florestais são o habitat ideal para elas.

5.3 Efeitos do Campo Eletromagnético

Apesar de os impactos das ondas eletromagnéticas sobre os organismos ainda permanecerem incertos, alguns autores sugerem que a exposição contínua ao campo eletromagnético possa gerar algumas alterações comportamentais que resultam em uma diminuição do sucesso reprodutivo além de causar alterações em processos bioquímicos (Ferne e Reynolds, 2005). Também foram observados por Mahmood et al. (2013) impactos do campo eletromagnético sobre a fisiologia de plantas, com alterações em atividades enzimáticas e aumento de mutações genéticas.

5.4 Risco de Incêndios

Segundo Cho et al. (2015), a inserção da linha de transmissão em um ambiente pode, além de fazer com que ele fique mais vulnerável a ações antrópicas, facilitar a propagação do fogo. A probabilidade de incêndios pode aumentar como consequência da transmissão de energia elétrica, por exemplo, pela morte de animais eletrocutados ou descargas elétricas. O estudo de Rodrigues et al. (2014) observou que a presença de linhas de transmissão como um dos fatores de risco de incêndio florestal na Espanha.

5.5 Efeito Sonoro

A ação do vento por ocasionar ruídos por conta das vibrações nos cabos, resultando em estalos ou pulsos. Os impactos ocasionados por estes ruídos podem resultar em afugentamento da fauna. (Straumann, 2011). Conforme consta em diversos EIA's, durante a fase de construção das linhas de transmissão o ruído do maquinário e dos veículos pode resultar também na evasão da fauna, ocasionando uma redução do uso da área por algumas espécies de animais (Colman et al., 2015).

5.6 Poluição do Ar

A poluição do ar, que aparece na maioria dos EIA's, está associada principalmente a fase de instalação das linhas de transmissão, onde podem ocorrer suspensão de poeira e emissões atmosféricas por fontes móveis em estradas de acesso ou canteiros de obras. Este efeito em sua maioria é temporário e local. (Biasotto, 2017).

5.7 Interferência no solo

Os principais impactos ocasionados no solo pela implantação da linha de transmissão estão relacionados às intervenções como melhoria, abertura e utilização de acessos, implantação e limpeza da faixa de servidão, montagem de torres e equipamentos e outros. Tais intervenções provocam movimentação do solo, escavações do solo, diminuição da cobertura vegetal e intensificação no uso do espaço, levando ao surgimento ou à aceleração de processos erosivos. A incidência dos processos erosivos varia ao longo da área de implementação, sendo mais intenso em terrenos mais acidentados. (Pereira, 2015).

Durante a montagem das linhas de transmissão de energia são executadas as fundações das torres, as quais, conforme já mencionado, apresentam um leque de opções que podem ser empregadas. Porém, uma das técnicas mais empregadas é a fundação do tipo raiz, pela questão econômica e seu emprego versátil para diversos tipos de terreno.

Na utilização de estacas raiz, há também o risco de contaminação do solo por meio do fluido de perfuração utilizado. O fluido de perfuração é constituído de diversos componentes, dependendo do tipo utilizado, que podem ser tóxicos, como metais pesados e hidrocarbonetos (Baltar e Luz, 2012).

O fluido de perfuração é responsável por criar uma coluna que exerce uma pressão sobre a parede da vala impedindo o desmoronamento através da formação de uma película impermeável, chamada de “cake”. No entanto, ele acaba se depositando no solo, contaminando o mesmo com os seus metais poluentes. A contaminação pode ocorrer tanto na fase de perfuração quanto na do armazenamento. (Ghazi et al, 2011).

Os metais encontrados na composição do fluido de perfuração em grandes quantidades, podem ser tóxicos. Muitos autores sugerem que a contaminação de metais pesados e metaloides no solo (e posterior contaminação humana) podem acarretar diversos tipos de problemas de saúde em recém-nascidos, como baixo peso e crescimento comprometido. O mais prejudicial destes metais é o manganês, que possui um papel importante no funcionamento do sistema nervoso e sistema imune, porém, em grandes quantidades é neurotóxico (Mihaileanu et al., 2019).

Segundo Augustsson et al. (2015), estudos conduzidos próximos a antigas áreas industriais concluíram que a grande concentração de metais no solo continua mesmo após anos do fim das atividades industriais, resultando em vegetais e frutos com alto teor de metais, ocasionando riscos para a saúde.

5.8 Contaminação de Corpos Hídricos e Alteração da Qualidade da Água

Pode ocorrer por diversos motivos, dentre eles o arraste do solo por meio de intervenções seguidas por chuvas intensas, manipulação de combustíveis e óleos no uso de máquinas e veículos, derramamento de líquido de arrefecimento dos transformadores, utilização de substâncias contaminantes com risco de vazamento ocasional. A contaminação ocorre principalmente nos canteiros de obra e na instalação das subestações. (Biasotto, 2017).

Outro poluente prejudicial para os corpos hídricos, conforme já citado, é o fluido de perfuração. Durante a perfuração para a instalação das estacas de fundação das torres de linha de transmissão ele entra em contato com o solo, posteriormente pode ser levado pela chuva até rios e lagos (onde se deposita nos seus leitos), ou até mesmo entrar em contato com o lençol freático. A acumulação dos metais provenientes dos fluidos de perfuração nos corpos de água compromete a qualidade da mesma, podendo torná-la imprópria para o consumo. Além da alta concentração de metais, o fluido de perfuração algumas vezes também possui hidrocarbonetos que são altamente tóxicos (Agwa et al., 2013). A figura 4 demonstra como tal contaminação pode ocorrer.

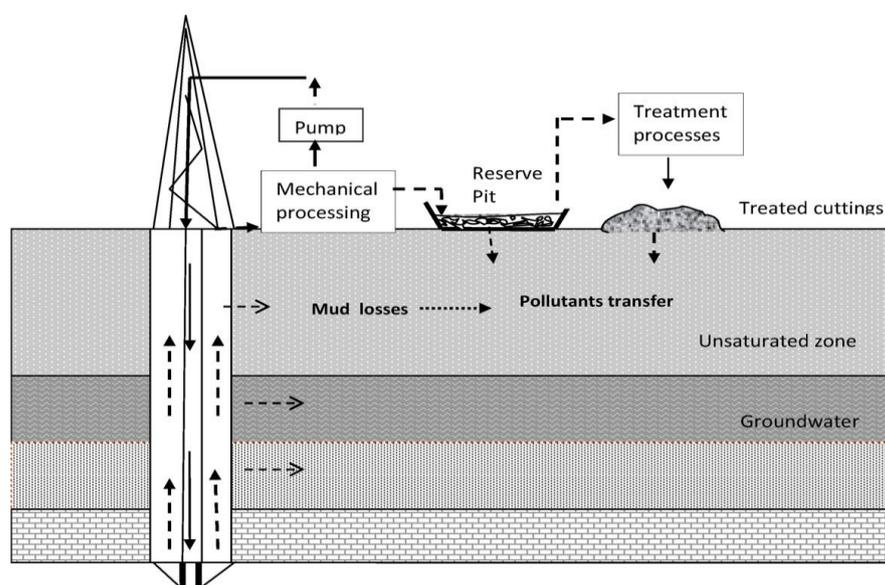


Figura 20 – Diagrama da transferência de poluentes para o solo e corpos hídricos subterrâneos (Ghazi et. Al., 2011).

Segundo Meyer et al. (2017), concentrações muito altas de metais na água são

extremamente prejudiciais para a vida. Exposição crônica a altas doses de Manganês acabam sendo neurotóxicas, principalmente em crianças e que o Alumínio, apesar de não ser considerado muito tóxico, pode ocasionar distúrbios neurológicos e até mesmo Alzheimer. Já Agwa (2013) sugere que no caso dos fluidos de perfuração, não se deve levar em consideração apenas a toxicidade dos metais de forma individual e sim aprofundar-se mais na interação dos diversos metais da sua composição entre si, o que pode causar impactos ainda maiores não estudados. Segundo Ghazi et al. (2013), além da toxicidade dos metais presentes, o fluido de perfuração também pode ser prejudicial para a vida aquática ao se sedimentar no fundo dos rios, lagos e oceanos, onde muitos animais essenciais para o equilíbrio ecológico do ecossistema se alimentam.

5.9 Geração de expectativas

Assim como em qualquer empreendimento de porte grande, o seu planejamento implica em ações como cadastramento das propriedades da área, maior circulação de trabalhadores e exposição parcial do empreendimento (IBAMA, 2009).

Em relação a linhas de transmissão de energia, tais atividades acabam gerando um aumento das preocupações e inseguranças da população, dúvidas em relação às características do empreendimento, sua implantação e consequências. O impacto relacionado à ocupação da faixa de servidão causa na população, por falta de informação, medo de problemas de saúde, o que faz com que tomem uma posição contrária à construção da linha de transmissão (EIA/RIMA Miracema-Saperaçu, 2013).

A falta de informação pode ser combatida através da criação de canais de diálogo que possam esclarecer as dúvidas da população e da divulgação de informações qualificadas sobre o empreendimento. (EIA/RIMA Rio Sul-Indaial, 2019).

5.10 Impactos sobre a infraestrutura local

O aumento do tráfego de veículos causará um crescimento da carga viária existente, podendo alterar o cotidiano dos usuários locais devido ao transporte de cargas por veículos pesados. As vias utilizadas devem passar por melhorias com a finalidade de absorver o tráfego durante o período das obras (RIMA – Petrobras, 2013).

As obras frequentemente resultam em um aumento da procura por bens e serviços urbanos básicos, principalmente de saúde. Geralmente, por atravessarem zonas pouco habitadas ou rurais, a infraestrutura local não é suficiente para atender a nova demanda. Por outro lado, a

instalação das linhas de transmissão também traz mudanças positivas para a comunidade local, como um aumento da demanda por serviços comerciais como refeições, mantimentos e pequenos bens de consumo, o que fomenta a economia local (EIA/RIMA Rio Sul – Indaial, 2019).

5.11 Aumento no índice de DST's e outras doenças

Com o aumento da quantidade de trabalhadores e interferência em áreas nativas há um aumento na incidência de doenças vetorialmente transmissíveis, especialmente em regiões com baixa condição sanitária. Na área influenciada pela construção das linhas de transmissão, foram identificados uma grande quantidade de registros de casos de dengue e febre amarela, bem como Leishmanioses Tegumentar Americana e a Visceral, Hanseníase e doença de Chagas (EIA/RIMA Miracema-Saperaçu, 2013)

Com o aumento da movimentação e interações sociais e culturais é comum que se tenha um crescimento da prostituição e aumento de índice de doenças sexualmente transmissíveis. Destaca-se em alguns municípios atravessados por empreendimento de linhas de transmissão números elevados de casos de AIDS. Este impacto ocorre principalmente na fase de construção dos empreendimentos (EIA/RIMA Rio Sul – Indaial, 2019).

5.12 Aumento da massa salarial e arrecadação tributária

O empreendimento traz novos empregos à região, conseqüentemente aumentando a massa salarial da população local. As vagas mais acessíveis à população são as que não exigem mão de obra especializada. Este aumento pode gerar na região, ainda que de forma temporária, um aumento na circulação de mercadorias e valores, aquecendo a economia local (IBAMA, 2009).

Já o aumento da circulação de capital e da massa salarial gera um incremento no retorno de tributos para o município através dos impostos. Com a permanência das empreiteiras, as regiões podem apresentar efeitos na economia, como abertura de novas oportunidades de emprego, locação de imóveis, crescimento do comércio local, prestação de serviços, hotéis, restaurantes e outros. A execução das obras resulta ainda em um aumento do montante regional de recursos monetários, em função da arrecadação de ISS (imposto sobre serviços) (RIMA – Petrobras, 2013).

5.13 Alternativas para utilização da estaca raíz

Os principais impactos ambientais ocasionados pela construção de linhas de transmissão de energia levantados nesta pesquisa estão relacionados à faixa de servidão (responsável por criar uma zona de desmatamento ao longo do caminho percorrido pelas torres) e ao tipo de fundação mais utilizado: a estaca raíz, e o fluido de perfuração utilizado. Os impactos relacionados ao desmatamento possui uma escala maior, por conta da grande extensão das linhas de transmissão, porém os impactos causados pela fundação não devem ser deixados de lado.

Em relação ao primeiro caso, existem estudos que podem ser feitos com o objetivo de minimizar os danos por meio da seleção de uma rota menos prejudicial ao ecossistema, evitando passar por zonas de preservação ou habitats de espécies em perigo de extinção. Já em relação às estacas raíz e os fluidos de perfuração utilizados foram constatadas uma série de pesquisas atuais que possuem como objetivo a criação de alternativas menos agressivas. Os principais estudos sugerem a utilização de fluidos à base de biodiesel, a utilização de fluidos à base de água com o acréscimo de aditivos, responsáveis por melhorar as propriedades dos fluidos, e a utilização de fluidos sintéticos.

5.13.1 Utilização de colchões para remoção de fluidos a base de óleo

Em perfurações profundas são muito utilizados os fluidos de perfuração a base de óleo pois os mesmos apresentam características como lubricidade, inibição química, estabilidade do sistema entre outras, superiores em comparação com outros fluidos a base de água (Quintero et. Al., 2015).

Após a perfuração do poço, o reboco formado nas paredes e o fluido contido em seu interior devem ser removidos de maneira eficaz para que ocorra o assentamento do revestimento. A remoção ineficiente dos mesmos pode ocasionar uma má qualidade de cimentação, colocando em risco a integridade do poço (Pernites et. Al., 2015).

Segundo Quintero et. Al. (2015), a remoção de forma eficiente deste material se tornou um grande desafio devido a formação de uma mistura viscosa entre a pasta de cimento e os fluidos de perfuração à base de óleos, dificultando a remoção.

Para que se tenha uma melhor remoção do reboco é importante a utilização de fluidos

especiais, chamados de colchões que são bombeados à frente da pasta de cimento. Estes fluidos devem ser criados de forma que não haja interação com os fluidos de perfuração e a pasta de cimento, propiciando a remoção do reboco e melhorando a aderência do cimento ao revestimento (Brandl et. Al, 2013).

Para que ocorra uma remoção eficiente, são bombeados colchões lavadores e espaçadores a frente da pasta de cimento. Os colchões lavadores têm uma função química no interior do poço de perfuração, melhorando a aderência do cimento, já os espaçadores são fluidos viscosos com um determinado peso específico que formam uma barreira entre a pasta de cimento e o fluido de perfuração. A figura a seguir é uma representação da atuação dos fluidos durante a operação de cimentação dos poços. O colchão lavador, bombeado no interior da coluna, volta a superfície através do espaço anular, deslocando o fluido para a superfície e removendo o reboco (Curbelo et. Al., 2017).

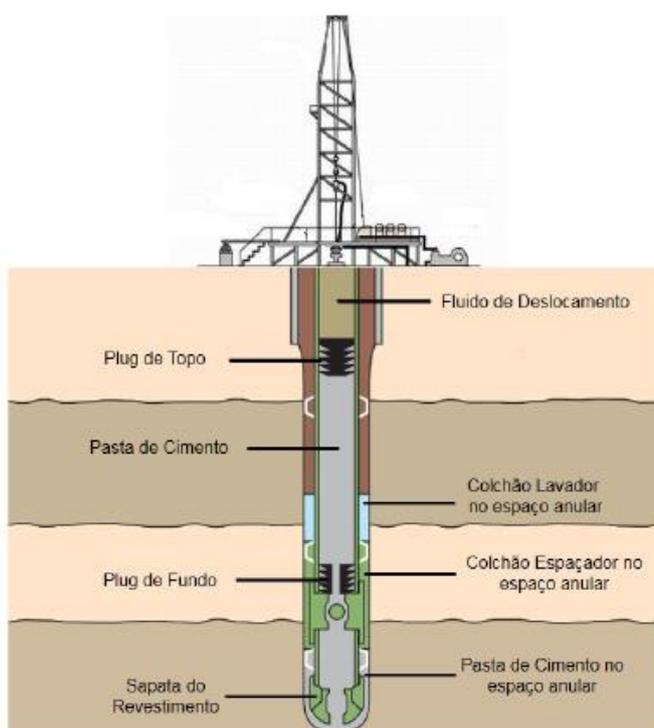


Figura 21 – Esquema de bombeamento do colchão no poço (Curbelo et. Al., 2017).

Na pesquisa de Curbelo et. Al. (2017), que teve como objetivo o desenvolvimento de um colchão lavador à base de óleo vegetal e soluções salinas de tensoativos, foi verificado que, após os testes, foram atingidos percentuais de remoção de até 97%, dependendo da quantidade de óleo vegetal utilizado, tendo assim uma ótima efetividade.

5.13.2 Fluidos a base de biodiesel

Com o crescimento e restrição das leis ambientais há uma maior necessidade da criação de um fluido à base de óleo que seja mais benigno para o meio ambiente. A alternativa sugerida por Oseh et. Al. (2019) foi a utilização de óleo extraído da semente de uma amêndoa não comestível como a fase contínua para fabricação de uma lama de perfuração a base de biodiesel. Diferentes propriedades (incluindo aspectos econômicos) foram avaliadas e comparadas com as das lamas a base de diesel para se determinar a aplicabilidade e toxicidade do novo tipo de lama sugerido. Os resultados indicaram que as propriedades do biodiesel são compatíveis, e que algumas propriedades chegam até mesmo a serem superiores, como é o caso do ponto de fulgor superior, tendo assim uma maior segurança em relação ao fogo. Em relação ao impacto ambiental, o biodiesel demonstrou se biodegradar três vezes mais rápido em teste com *Penicillium*. Economicamente falando, se demonstrou de baixo custo de fabricação e de fácil descarte dos refugos.

Outra alternativa encontrada foi a pesquisa de Kumar et. Al. (2019) que trata de um fluido de perfuração criado com um éster metílico extraído do óleo da semente de manga da Índia. As propriedades físicas, químicas, reológicas e de filtração se demonstraram superiores se comparadas ao diesel além de possuírem impactos ambientais inferiores (foram analisados utilizando o teste de concentração letal aguda). A lama se demonstrou termicamente estável e apresentou um forte comportamento de pseudoplástico, o que é um atrativo se tratando de lamas de perfuração.

Os fluidos de perfuração a base de biodiesel demonstram-se os melhores no aspecto de impacto ambiental, principalmente se levarmos em consideração as obras de expansão do sistema de transmissão brasileiro que atravessará zonas de floresta e conservação ambiental.

5.13.3 Utilização de lamas à base de água com aditivos

As lamas à base de óleo são os melhores fluidos para perfuração, porém o seu uso não é recomendado por conta do seu alto impacto ambiental. Alguns autores sugerem a utilização de lamas à base de água com a utilização de alguns aditivos que melhoram suas propriedades, tornando-as iguais ou superiores em qualidade às a base de óleo (Kusrini et. Al., 2018).

No estudo realizado por Ekeinde et. Al. (2018) foi avaliado a utilização de materiais ecológicos em sistemas de fluido de perfuração a base de água. Foram analisados quatro

sistemas a diferentes temperaturas com o objetivo de se observar as suas propriedades. Concluiu-se que os materiais funcionaram de forma eficaz aumentando a viscosidade da lama, principalmente a Avertrohoao carambola.

Um dos aditivos utilizados nos fluidos de perfuração são os chamados Materiais de circulação perdida (LCM), que são responsáveis por minimizar ou prevenir a perda de fluido na formação. O estudo de Idress e Hasan (2019) desenvolveu um novo LCM feito à base de agro-resíduos como casca de laranja e semente de girassol. A performance do fluido de perfuração com os novos aditivos foi testada em termos reológicos e propriedades de filtração demonstrando-se eficaz se comparado com os utilizados na indústria atualmente.

O estudo realizado por Kusrini et. Al (2018) analisa o uso de nanomateriais como aditivos: o grafeno como formador de “cake” e barreira de filtração e o óxido de magnésio para aumentar a viscosidade. Após análise das propriedades reológicas usando o método plástico de Bingham conclui-se que apenas o grafeno pode ser utilizado para poços de perfuração de alta pressão.

5.13.4 Utilização de argilas de várzea da zona metropolitana de Manaus

Os fluidos de perfuração à base de água são os ambientalmente mais seguros, sendo utilizados tanto em perfurações terrestres quanto marítimas. Argila é comumente adicionada para que se tenha uma melhora nas propriedades do fluido, como uma melhor limpeza do poço, melhor lubrificação da broca, formação de uma película de baixa permeabilidade e maior estabilização das paredes do poço. Atualmente a argila comercial mais comumente utilizada é a bentonita sódica (Caenn et. Al., 2011).

A maior parte da produção brasileira de bentonita é proveniente de pequenos depósitos localizados no município de Boa Vista, na Paraíba. Estas argilas são de ótima qualidade, podendo se transformar em bentonitas sódicas com propriedades reológicas, substituindo as bentonitas naturais importadas pelo Brasil. A descoberta de novas jazidas de bentonita brasileira se torna mais urgente pois as do município de Boa Vista começam a se esgotar após 50 anos de exploração (Lima, 2015).

Com o objetivo de descobrir novas fontes de fluido de perfuração, Lima (2015) realizou uma pesquisa com argilas de várzea nos municípios de Manaus e Iranduba. Após diversos testes das amostras, a argila mosqueada da região do rio Ariáú foi a mais promissora. Ela apresentou valores adequados de capacidade de troca de cátions, área superficial e análises de termogravimetria e espectroscopia dentro dos padrões. Porém em testes de reologia, ela não

apresentou a capacidade de conferir a viscosidade adequada ao fluido, por conta principalmente do pH ácido encontrado. O autor sugere novos testes após um tratamento na argila para correção do pH e remoção de impurezas.

5.13.5 Utilização de Fluidos Sintéticos

Uma alternativa encontrada para diminuição dos impactos ambientais é a utilização dos fluidos de perfuração sintéticos. Do ponto de vista operacional, os fluidos a base de óleo atendem a determinados requisitos que os fluidos a base de água não são capazes de fazê-lo. Por outro lado, a utilização de fluidos a base de óleo trouxe preocupações ambientais a indústria por conta dos impactos causados (sobretudo pela utilização do diesel), o que despertou um grande interesse pela utilização dos chamados fluidos sintéticos (Chagas, 2016).

Os fluidos sintéticos de perfuração (SBF) são menos tóxicos. Eles se degradam mais rapidamente em comparação ao diesel e óleos minerais sem comprometer a performance. Eles também são fabricados para que possuam algumas características específicas, como serem menos voláteis que os fluidos a base de óleo e gerarem vapores livres de compostos aromáticos, tais características são muito importantes para os aspectos de saúde e segurança. Por outro lado, os fluidos a base de óleos derivados de plantas são reconhecidamente superiores em aspectos ambientais, como biodegradação, eco toxicidade e bioacumulação, porém são inferiores em propriedades como estabilidade térmica (Razali et al., 2018).

Segundo os estudos de Mairs et al. (2000) e Pozebon et al. (2009), a utilização de fluidos sintéticos em perfurações marinhas não causam impactos significativos. Foram coletados sedimentos em águas profundas antes e após a perfuração não sendo encontrados grandes quantidades de metais e hidrocarbonetos.

Já Carlson & Hemphill (1994) relatam em suas pesquisas sobre a utilização de fluidos sintéticos a base de éster em poços de perfuração no golfo do México, em profundidades entre 300 e 1250 metros. Durante as operações foram notadas uma grande economia em termos de tempo de perfuração e eliminação de instabilidade de poço. As propriedades dos fluidos permitiram uma adequada capacidade de limpeza dos poços.

5.13.6 Emulsificante a base de borra de óleo

Os emulsificantes são utilizados para criar emulsões água/óleo estáveis em fluidos de perfuração à base de óleo ou de base sintética, além de auxiliar no controle de filtração. Os

produtos utilizados são escolhidos de acordo com as condições de perfuração e são essencialmente os mesmos para fluidos sintéticos e de base oleosa. Os emulsificantes possuem porções hidrofílicas e hidrofóbicas em suas estruturas e devido a estas propriedades, possuem a capacidade de solubilizar materiais pouco solúveis (Reddy e Ghosh, 2010).

Existem várias pesquisas sendo realizadas com o objetivo de produzir novos emulsificantes que forneçam ao fluido de perfuração propriedades desejadas e que sejam menos agressivos ambientalmente. A pesquisa de Souza et. Al. (2011) analisou a possibilidade da utilização de óleo de vegetais comerciais *food grade* como emulsificantes para fluidos sintéticos. Após o estudo, os autores puderam concluir que o novo tensoativo apresentou ótimos valores de filtrado e teor de água no filtrado, porém houve uma diminuição das medidas reológicas e da estabilidade elétrica.

Partindo da pesquisa de Souza et. Al. (2011), o estudo de Leal et. Al. (2017) se aprofundou mais no assunto, com a finalidade de modificar os valores reológicos e preservar as ótimas propriedades de filtração do fluido obtido, utilizando um emulsificante primário baseado na borra do óleo de soja para utilização em fluidos de perfuração sintético de base n-parafina.

Como resultado da pesquisa de Leal et. Al. (2017), foi observado que as emulsões preparadas com o emulsificante a base de borra de óleo (EBO) apresentaram estabilidade elétrica e volume filtrado dentro da norma (sendo o volume de filtrado obtido muito abaixo ao limite exigido) e teor de água dentro do exigido, sendo assim, concluiu-se que a borra de óleo de soja pode ser utilizada como emulsificante de forma eficiente.

5.13.7 Tratamento à base de microondas na descontaminação por fluidos sintéticos

Outra vantagem da utilização dos fluidos sintéticos é a sua melhor facilidade de remoção após o processo de perfuração. Durante o processo de perfuração, o fluido é responsável por remover o material cortado para a superfície, este material contaminado com o fluido é o principal agente poluente em atividades de perfuração e é preciso que haja uma descontaminação antes de ser feito o seu despejo na natureza.

Em perfurações em alto mar, na maioria dos casos a descontaminação é feita levando o resíduo para terra firme, porém o processo se torna mais demorado e caro, sendo assim, o tratamento mais econômico é feito em alto mar, seguido pelo seu despejo local, de acordo com as normas ambientais. No Brasil, para que o despejo seja feito no mar, o limite residual de n-parafina deve ser de até 6,9% da massa total (Pereira, 2013).

Existem diversas tecnologias para a remoção dos fluidos do material cortado, reaproveitando o máximo dele, para diminuição de custos, porém, na maioria dos casos, o fluido recuperado apresenta uma grande quantidade de sólidos, o que diminui a qualidade. Segundo Pereira (2014), o tratamento por aquecimento via microondas tem se mostrado uma alternativa promissora tanto no aspecto ambiental quanto econômico.

Nos tratamentos por aquecimento convencional, a energia é transferida por condução, convecção e radiação. Já no tratamento por microondas, a energia é transferida diretamente aos materiais por interação molecular com o campo eletromagnético gerado, portanto, os elementos do material são aquecidos individualmente e instantaneamente, superando limitações impostas pelas propriedades de transferência de calor do material (Metaxas, 1983).

Segundo os estudos de Pereira (2014), a tecnologia de microondas foi capaz de remover a n-parafina dos resíduos de corte contaminados em níveis adequados segundo a legislação ambiental e até menores que em processos convencionais. O tratamento dos resíduos usando microondas foi influenciado pela concentração inicial do fluido, a quantidade de massa dos resíduos e a energia aplicada. O limite de 6,9% de massa contaminada com n-parafina foi atingido em grande escala e em determinadas situações, pode ser reduzida até 0, gerando um resíduo muito mais limpo.

5.13.8 Vantagens e desvantagens das alternativas encontradas

As alternativas levantadas por meio desta pesquisa apresentam suas vantagens e desvantagens, a tabela 3 a seguir procura organizá-las para facilitar a escolha dependendo do tipo de cenário em que elas possam ser aplicadas.

Quadro 3 – Principais vantagens e desvantagens das alternativas encontradas

Fonte: Autor próprio (2021).

Alternativa	Vantagem	Desvantagem
Utilização de colchões para remoção de fluidos a base de óleo	São os que apresentam as melhores propriedades em perfurações profundas	São os mais poluentes e, apesar de os colchões ajudarem na remoção, não garantem um processo totalmente limpo
Fluidos a base de biodiesel	Alternativa menos agressiva ao meio ambiente, de aspecto	Ainda requer um desenvolvimento maior e investimento em pesquisas,

	econômico viável, boas propriedades físicas	além de ser interessante estudar-se um biodiesel a base de matérias-primas brasileiras
Utilização de lamas à base de água com aditivos	Baixo impacto ambiental, bom aspecto econômico, possibilidade de utilizar agro resíduos como LCM, se aproveitando assim da grande produção agrícola brasileira.	Propriedades físicas inferiores se comparado aos fluidos à base de óleo ou sintéticos.
Utilização de argilas de várzea da zona metropolitana de Manaus	Baixo impacto ambiental, baixíssimo custo por conta da utilização de matéria prima regional e barata.	Estudos ainda em fase inicial, necessitando de um aprofundamento e testes de estabilização do pH.
Utilização de fluidos sintéticos	Boas propriedades físicas, menor impacto ambiental se comparado aos fluidos à base de óleo	Custo elevado, impacto ambiental superior aos fluidos a base de biodiesel
Emulsificante a base de borra de óleo	Melhoram as propriedades de filtração dos fluidos à base de óleo e sintéticos, baixo impacto ambiental	Por serem utilizados em fluidos sintéticos ou à base de óleo, possuem as mesmas desvantagens
Tratamento à base de micro-ondas na descontaminação por fluidos sintéticos	Diminuem os impactos ambientais dos fluidos sintéticos	Alto custo, por se tratar de fluidos sintéticos, investimento em pesquisa necessário

CAPÍTULO 6

6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

6.1 Conclusões

Com o crescimento previsto para as linhas de transmissão no Brasil e o constante aumento de demanda para o sistema elétrico é inevitável que o sistema precisa se expandir. Tal expansão será feita em sua grande parte em áreas de mata e conservação florestal, impactando de forma direta e indireta nos ecossistemas presentes. Apesar dos impactos ambientais ocasionados, é importante salientar que tais empreendimentos são imprescindíveis para o desenvolvimento tecnológico do país, portanto devem ser procuradas alternativas menos agressivas.

Dentre os principais impactos levantados por este trabalho estão àqueles relacionados principalmente à faixa de servidão que acompanha a extensão das linhas de transmissão e, dependendo da altura e tensão transportada pelas torres, ocasiona uma área desmatada maior ou menor ao seu redor. Tais impactos são mais difíceis de serem evitados, tendo como alternativa apenas a alteração do percurso por meio de estudos aprofundados, optando por um caminho que evite a maior quantidade de áreas de conservação possíveis.

Além disso, os impactos que estão relacionados à construção das torres de transmissão, mais especificamente suas fundações, por conta da grande utilização de estacas do tipo raiz na construção de linhas de transmissão, ganham muito importância, principalmente em áreas de florestas e de conservação, pois durante o processo de sua execução são empregados os fluidos de perfuração, com a finalidade de criar uma camada durante a perfuração do solo que evita desmoronamentos, porém esta possui em sua composição metais pesados e hidrocarbonetos potencialmente prejudiciais que acabam sendo dispersados no solo, podendo ser levados aos corpos hídricos.

Tais impactos, por outro lado, por estarem atrelados ao tipo de fundação das linhas de transmissão podem ser evitados ou reduzidos. Uma das alternativas seria a utilização de outros tipos de fundação menos agressivos, como as sapatas, porém elas não apresentam a mesma capacidade de resistência a esforços das estacadas raízes, podendo ser aplicadas apenas a alguns tipos de torres menores. Outra alternativa proposta por pesquisas mais recentes é a utilização de fluidos à base de biodiesel, que são menos tóxicas e apresentam uma solução viável. Já alguns autores sugerem a utilização de fluidos à base de água com o acréscimo de aditivos que melhorariam suas propriedades físicas e químicas, outros autores sugerem a utilização de fluidos sintéticos que possuem propriedades semelhantes às do à base de óleo, porém com

menor impacto ambiental.

Das alternativas analisadas, tendo em vista que estão previstas no país diversas obras de linhas de transmissão que irão atravessar áreas de floresta (como é o caso do linhão de Tucuruí), observou-se que as mais promissoras encontradas foram a utilização de fluidos a base de biodiesel e a utilização de fluidos sintéticos. A primeira alternativa se mostrou interessante pois os fluidos a base de biodiesel possuem propriedades físicas e químicas semelhantes às dos fluidos à base de óleo (que são nesses aspectos os melhores) porém podem se degradar até três vezes mais rápido, reduzindo assim os impactos ambientais ocasionados. Já no caso dos fluidos sintéticos, os mesmos possuem propriedades que chegam até a serem superiores à dos fluidos a base de óleo, porém com menor impacto ambiental, principalmente se forem utilizados os métodos de tratamento por micro-ondas.

Outra alternativa que se mostrou muito promissora foi a utilização de argilas de várzea da zona metropolitana de Manaus, porém o pH ácido prejudicou as propriedades reológicas. Com futuras pesquisas em argilas com um tratamento para normalização do pH é possível que se obtenha uma lama de baixíssimo custo e baixo impacto ambiental.

Como contribuições desta pesquisa podemos destacar:

- **as contribuições acadêmicas**, abordando temas relacionados à construção de linhas de transmissão de energia, impactos ambientais, fundações e fluidos de perfuração que por terem sido expostos de maneira clara e organizada podem auxiliar futuras pesquisas;
- **as contribuições econômicas**, pois pode ser utilizada como um meio de facilitar o planejamento e execução de empreendimentos de linhas de transmissão mais sustentáveis ecologicamente, o que agilizaria o processo de licenciamento ambiental e por sua vez diminuiria o tempo de espera para se iniciarem as obras;
- **as contribuições sociais**, pois é cada vez mais importante se trabalhar de forma sustentável, preservando-se os recursos naturais.

6.2 Sugestões de trabalhos futuros

Atualmente é muito importante avançar em estudos de alternativas que diminuam o impacto ambiental e que sejam economicamente viáveis, possibilitando assim um avanço econômico e tecnológico do país sem que ocorra uma degradação dos recursos ambientais.

Deste modo, como sugestão para trabalhos futuros tem-se:

- Pesquisar e desenvolver fluidos a base de biodiesel com matérias primas regionais, obtendo assim alternativas mais ecologicamente sustentáveis e de baixo custo;
- Aprofundar-se no estudo da utilização das argilas de várzea da zona metropolitana de Manaus;
- Desenvolver alternativas às fundações profundas de estacas raiz sem que se comprometa o aspecto estrutural.
- Fazer um estudo sobre as vantagens econômicas obtidas por meio da utilização de alternativas mais sustentáveis, que além do benefício ambiental, também podem ocasionar vantagens econômicas e um processo mais rápido.

REFERÊNCIAS

- ABRADEE -Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica. **Visão geral do setor**. Disponível em: <http://www.abradee.com.br/setor-eletrico/visao-geral-do-setor>, acesso em 20 de dezembro de 2019.
- Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. Ministério de Minas e Energia, Atlas, 2008.
- Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Resolução Normativa da ANEEL nº 270 – 2007: Estabelece as disposições relativas à qualidade do serviço público de transmissão de energia elétrica, associada à disponibilidade das instalações integrantes da Rede Básica, e dá outras providências.
- AGWA, Ahmad; LEHETA, Heba; SALEM, Ahmed; SADIQ, Rehan. **Fate of drilling waste discharges and ecological risk assessment**. *Stoch Environ Res Risk Assess*. V. 27, p. 169-181, 2013.
- AMARAL, Rodrigo Costa. **Dimensionamento de Fundações para Torres Metálicas de Linha de Transmissão de Energia Elétrica**. Dissertação (Trabalho de conclusão do curso de Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.
- AMORIM, Luciana Viana; VIANA, Josiane Dantas; FARIAS, Kássie Vieira; BARBOSA, Maria Ingrid Rocha & Ferreira; HEBER, Carlos. **Estudo Comparativo entre variedades de argilas bentoníticas de Boa Vista, Paraíba**. *Revista Matéria*, v.11, n.1, p. 30-40, 2006.
- ARANEO, R.; MARTIRANO, L.; CELOZZI, S.; VERGINE, C. **Low-environmental impact routing of overhead power lines for the connection of renewable energy plants to the Italian**. *14th Int. Conf. Environ. And Electr. Eng.*, p. 386:391, 2014.
- ASHCAR, R. **Recomendação e informações técnicas sobre fundações de linhas de transmissão**. VIII Encontro Regional Latinoamericano do Cigré, Ciudad del Este, 1999.
- ASME, Shale Shaker Committee. **Drilling Fluids Processing Handbook**. Oxford: Gulf Professional Publishing, Editora Elsevier, 2010. 650p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 6122 – Projeto e Execução de Fundações**. Rio de Janeiro, p.1-103, 2010.
- AUGUSTSSON, A. L.; UDDH-SODERBERG, T. E.; HOGMALM, K. J.; FILIPSSON, M. E. **Metal Uptake by Homegrown Vegetables – The Relative Importance in Human Health Risk Assessments at Contaminated Sites**. *Environmental Research*, vol. 138, p. 181-190, 2015.
- AZEVEDO, Crystian Purcino Bernardes. **Fundações para linhas de transmissão: dimensionamento e execução**. Fundação Cultural de Minas Gerais, Belo Horizonte, 411 p., 2011.
- BAGLI S.; GENELETTI D.; ORSI F. **Routing of power lines through least-cost path analysis and multicriteria evaluation to minimise environmental impacts**. *Environmental Impact Assessment Review*, v.31, p.234:239, 2011.

BALTAR, C. A. M; Luz, A. B. **Barita e Bentonita: Funções no Fluido de Perfuração e Potencial de Uso nas Reservas do Nordeste do Brasil.** Para Desenvolver a Terra, Imprensa da Universidade de Coimbra, pg. 314-320, 2012.

BARRETO, Alcyrus Vieira Pinto; HONORATO, Cezar de Freitas. **Manual de sobrevivência na selva acadêmica.** Rio de Janeiro: Objeto Direto, 1998.

BARTZKE G.S.; MAY R; BEVANGER K.; STOKKE, S. & ROSKRAFT, E. **The effects of power lines on ungulates and implications for power line routing and rights-of-way management.** *Int J Biodivers Conserv* 6(9):647–662, 2014.

BERG, A, AHRNE´ K, O´ CKINGER E, SVENSSON R, SO´DERSTRO´M B. **Butterfly distribution and abundance is affected by variation in the Swedish forest-farmland landscape.** *Biol Conserv.* 144(12):2819-2831, 2011.

BIASOTTO, Larissa Donida. **Interações entre linhas de transmissão e a biodiversidade: uma revisão sistemática dos efeitos induzidos por esses empreendimentos.** Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Programa de pós graduação em ecologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

BRANDL, A.; ACORDA, E.; ELLIS, T.; BRAY, W. **Improving mud removal and simplifying challenging cement design: a deepwater case history in the South China sea.** *International Petroleum Technology Conference*, Beijing, China, 2013.

BURKE, C. J. & Veil, J. A. **Synthetic-based drilling fluids have many environmental pluses.** *Oil & Gas Journal* 27, 1995.

CAENN, Ryen; DARLEY, H. C. H. & Gray; GEORGE, R.. **Composition and properties of drilling and completion fluid.** Sixth Edition, Gulf Professional Publishing, Waltham, MA, USA, 661p, 2011.

CARLSON, T.; HEMPHILL, T. **Meeting the challenges of deepwater gulf of Mexico drilling with non-petroleum ester-based drilling fluids.** *International Petroleum Conference & Exhibition of Mexico*, SPE 28739, 1994.

CCEE – Site da Câmara de Comercio de Energia Elétrica. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/>, acesso em 29/12/2019.

CHAGAS, Felipe Lúcio de Sousa. **Estudo da Operação de Controle de Poços com Fluidos de Perfuração Sínteticos.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016.

CHAVES, Ronaldo Azevedo. **Fundações de Torres de Linhas de Transmissão e de Telecomunicação.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia da UFMG, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.

CHO, M. A., MALAHLELA, O., & RAMOELO, A. **Assessing the utility WorldView- imagery for tree species mapping in South African subtropical humid forest and the conservation implications: Dukuduku forest patch as case study.** *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 38, 349–357, 2015.

COLLIS, J.; HUSSEY, R. **Pesquisa em Administração: um guia prático para alunos de graduação e pós-graduação**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

COLMAN, J.E.; Eftestøl, S.; Tsegaye, D.; Flydal, K.; Mysterud A. **Is a wind-power plant acting as a barrier for reindeer *Rangifer tarandus tarandus* movements?** *Wildl Biol* 18:439–445, 2012.

CURBELO, F.D.S.; ARANHA, R. M.; ARAÚJO, E.A.; FREITAS, J.C.O.; GARNICA, A.I.C. **Remoção de fluido de perfuração base óleo por colchões lavadores compostos por óleo vegetal, tensoativo e salmoura**. *Holos*, v.4, ano 33, 2017.

EIA/RIMA. **Estudo de Impacto Ambiental da Linha de Transmissão Miracema – Saperaçu**. Ecology Brasil, 2013.

EKEINDE, Bose Evelyn; OKORO, Emmanuel Emeka; DOSUNMU, Adewale; IYUKE, Sunny. **Optimizing aqueous drilling mud system viscosity with green additives**. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*. 1-4, 2018.

Empresa de Pesquisa Energética – EPE, **Anuário Estatístico de Energia Elétrica, MME – Ministério de Minas e Energia**, 2017.

FERNIE, K.J. & REYNOLDS, S.J. **The effects of electromagnetic fields from power lines on avian reproductive biology and physiology: a review**. *J. Toxicol. Environ. Health B Crit. Rev.* 8:127-140, 2005.

FLEURY, Maria Tereza Leme. WERLANG, Sergio R. C. **Pesquisa aplicada: conceitos e abordagens**. GV Pesquisa, anuário de pesquisa 2016-2017. Disponível em: <http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/apgvpesquisa/article/view/72796>. Acesso em: 18 fev. 2019.

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

GARCIA, Osmar da Cunha. **Influência da qualidade da compactação dos reaterros na capacidade de carga de fundações submetidas a esforços de tração**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

GHAZI, Malika; QUARANTA, Gaetana; DUPLAY, Joelle; HADJAMOR, Raja; KHODJA, Mohamed; AMAR, Hamid Ait; KESSAÏSSIA, Zoubir. **Life-Cycle Impact Assessment of Oil Drilling Mud System in Algerian Arid Area**. *Resources Conservation and Recycling*, Vol. 55, p. 1222-1231, 2011.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GONTIJO, C. R. **Cálculo de Torres Para Linhas de Transmissão**. Belo Horizonte, IEA Editora, 1994. 132p.

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Renováveis. **Licenciamento Ambiental**. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/empreendimentos-e->

[projetos/licenciamento-ambiental-legislacao](#), acesso em 31/12/2019.

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Termo de referência para estudo de impacto ambiental e respectivo relatório de impacto ambiental (EIA/Rima) da linha de transmissão 500kV Tucuruí/PA-Xingu-Jurupari/PA**, 2009.

IDRESS, Mazlin; HASAN, Muhammad Luqman. **Investigation of different environmental-friendly waste materials as lost circulation additive in drilling fluids**. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, p. 1-10, 2019.

IEO. International Energy Outlook. 2019. **World Energy demand and economic outlook**. Disponível em: <https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/aeo2019.pdf>. Acesso em 01/01/2020.

International Association of Oil and Gas Producers – **Environmental aspects of the use of disposal of non-aqueous drilling fluids associated with offshore oil and gas operations**, report 342, 2003.

KUMAR, Saket; THAKUR, Aarti; KUMAR, Nitesh; HUSEIN, Maen M. **A novel oil-in-water drilling mud formulated with extracts from Indian mango seed oil**. *Petroleum Science*, 1-15, 2019.

KUSRINI, Eny; SUSENO, Bayu; KHALIL, Munawar; NASRUDDIN; USMAN, Anwar. **Study of the use of nanomaterials as drilling mud additives**. *E3S Web of Conferences* 67, 1-8, 2018.

LEAL, Caline Alves; SOUZA, Roberta Cristina Rocha; BALABAN, Rosângela de Carvalho; AMORIM, Luciana Viana. **Avaliação de emulsificante baseado na borra de óleo de soja para fluidos de perfuração sintéticos**. *Tecnol. Metal. Mater. Miner.*, v. 14, n.2, p. 100-106, 2017.

LIMA, Igor Bezerra. **Caracterização das argilas de várzea da região metropolitana de Manaus, para emprego como fluido estabilizante em perfuração de poços tubulares**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2015.

MAHMOOD, M.; BEE OB.; MOHAMED, M.T.M.; SUBRAMANIAM S. **Effects of electromagnetic field on the nitrogen, protein and chlorophyll content and peroxidase enzyme activity in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) leaves**. *Emir J Food Agric* 25(6):471–482, 2013.

MAIRS, H.; SMITH, J; MELTON, R.; PASMORE, F; MARUCA, S. **Efeitos ambientais dos cascalhos associados a fluidos não aquosos**. Fundamentos Teóricos, 2000.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos da metodologia científica**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

MATIAS, Alexandre Strongylis. **Uma contribuição ao projeto de fundações de torres de turbinas eólicas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

MELO, Klismeryane Costa. **Avaliação e modelagem reológica de fluidos de perfuração a**

base de água. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

MENEZES, Victor Prangiel. **Linhas de Transmissão de Energia Elétrica – Aspectos Técnicos, Orçamentários e Construtivos.** Dissertação (Trabalho de conclusão do curso de Engenharia Elétrica) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

METAXAS, R.C.; MEREDITH, R.J. **Industrial Microwave Heating**, IET, 1983.

MEYER, Caroline M. C.; RODRIGUEZ, Juan M.; CARPIO, Edward A.; GARCIA, Pilar A.; STENGEL, Caroline; BERG, Michael. **Arsenic, manganese and aluminum contamination in groundwater resources of Western Amazonas (Peru).** Science of Total Environment. Vol. 607, p. 1437-1450, 2017.

MIHAILEANU, Razvan G.; NEAMTIU, Iulia A.; FLEMING, Molly; POP, Cristian; BLOOM, Michael S.; ROBA, Carmen; SURCEL, Mihai; STAMATIAN, Florin; GURZAU, Eugen. **Assessment of Heavy Metals (total chromium, lead, and manganese) contamination of residential soil and homegrown vegetables near a former chemical manufacturing facility in Tarnaveni, Romania.** Environ Monit Assess, vol. 191, 2019.

MOREIRA, R. O. C. **Avaliação teórico-experimental de campos magnéticos nas proximidades das linhas de transmissão subterrâneas.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Escola de Engenharia da UFMG, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

MURTA, Karina Elias. **Torre de Transmissão de Energia Elétrica: Novo Design e os Desafios da Inserção no Contexto Urbano.** 160f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia da UFMG, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

NOGUEIRA, Rogério Carvalho Ribeiro. **Comportamento de Estacas Tipo Raiz, Instrumentadas, Submetidas a Compressão Axial, em Solo de Diabásio.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS. Mapas do SIN. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/mapas>> Acesso em: 16 de dez. 2019. Submódulo 2.4. **Requisitos mínimos para linhas de transmissão aéreas**, 2011.

OSEH, Jeffrey O.; NORDDIN, Mohd M.N.A.; ISMAIL, Issham; ISMAIL, Abdul R.; GBADAMOSI, Afeez O.; AGI, Augustine; OGIRIKI, Shadrach. **Investigating almond seed oil as potential biodiesel-based drilling mud.** *Journal of Petroleum Science and Engineering* 181, p. 1-15, 2019.

PEREIRA, Anne Luise de Amorim. **Análise Crítica dos Impactos Ambientais Ocasionalmente Pela Linha de Transmissão 500kV Miracema – Sapeaçu e Subestações Associadas.** Dissertação (Trabalho de conclusão do curso de Engenharia Ambiental) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

PEREIRA, Caio. **Estaca Raiz: Características, Processo Executivo, Vantagens e Desvantagens.** Escola Engenharia, 2018. Disponível

em: <https://www.escolaengenharia.com.br/estaca-raiz/>. Acesso em: 9 de janeiro de 2020.

PEREIRA, Caio. **Fundações Profundas**. Escola Engenharia, 2016. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/fundacoes-profundas/>. Acesso em: 30 de dezembro de 2019.

PEREIRA, Eugênio. **Aspectos práticos importantes dos fluidos de perfuração modernos**. Trabalho apresentado no X Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. 1998

PEREIRA, M. S.; ATAIDE, C. H.; NAUFEL, R.; PANISSET, C.M.A.; AS, C.H.M.; MARTINS, A.L. **Microwave Heating: A Feasible Alternative for Drilled Cuttings Drying in Offshore Environments**, *SPE/IADC Drilling Conference and Exhibition*, 2013.

PEREIRA, Marina Seixas; PANISSET, Curt Max; MARTINS, Andre Leibsohn; Sá, Carlos Henrique Marques, BARROZO, Marcos Antonio de Souza; ATAIDE, Carlos Henrique. **Microwave treatment of drilled cuttings contaminated by synthetic drilling fluid**. *Separation and Purification Technology*, n 124, p. 68-73, 2014.

PERNITES, R.; KHAMMAR, M.; SANTRA, A. **Robust spacer for water and oil based mud**. *Western Regional Meeting*, Garden Grove, USA, 2015.

POHLMAN, C.L., TURTON, S.M., GOOSEM, M. **Temporal variation in microclimatic edge effects near powerlines, highways and streams in Australian tropical rainforest**, *Agr. For. Meteorol.* 149, 84–95, 2009.

POZEBON, D.; SANTOS, J. H. Z.; PERALBA, M. C. R.; MAIA, S. M.; BARRIONUEVO, S.; PIZZOLATO, T. M. **Metal arsenic and hydrocarbons monitoring in marine sediment during drilling activities usins NAFs**. *Deep Sea Research II*, 56, p. 22-31, 2009.

QUINTERO, L.; PASSANHA, W. D.; AUBRY, E.; POITRENAUD, H. **Advanced microemulsion cleaner fluid applications in deepwater wells**. *Offshore Technology Conference*, Rio de Janeiro, Brasil, 2015.

RAZALI, S. Z.; YUNUS, R.; RASHID, Suraya Abdul; LIM, H. N.; JAN, Mohamed B. **Review of biodegradable synthetic-based drilling fluid: Progression, performance and future prospect**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, n. 90, p.171 – 186, 2018.

REDDY, SM; GHOSH, P. **Absorption and coalescence in mixed surfactant systems: Water-hydrocarbon interface**. *Chemical Engineering Science*, n. 65, p. 4141-4153, 2010.

RICHARDON, Roberto Jarry. **Pesquisa social: métodos e técnicas**. 3. Ed. São Paulo: Atlas, 1999.

RIMA – Petrobras, **Implantação das linhas de transmissão de 345kV da derivação COMPERJ**. Grupo CEPEMAR, 2013.

RIMA – Rio Sul – Indaial. **Linhas de transmissão de energia 230/525kV Rio Sul – Indaial – Gaspar II, subestações e seccionamentos associados**. Neoenergia, 2019.

RODRIGUES, M., DE LA RIVA, J., FOTHERINGHAM, S. **Modeling the spatial variation of**

the explanatory factors of human-caused wildfires in Spain using geographically weighted logistic regression. *Appl. Geogr.* 48, 52e63, 2014.

SALOMON, Délcio Vieira. **Como fazer uma monografia.** 12. ed. São Paulo: WMF Martins Fontes, 2010.

SANTIAGO-QUESADA, F., MASERO, J.A., ALBANO, N., SÁNCHEZ-GUZMÁN, J.M. **Roost location and landscape attributes influencing habitat selection of migratory waterbirds in rice fields.** *Agric. Ecosyst. Environ.* 188, 97–102, 2014.

SILVA, Cristiane Henrique. **Influência da Incorporação de Sólidos nas Propriedades de Fluidos de Perfuração Sintéticos.** Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Campina Grande, 2014.

SOUZA, L.M.; GIRAO, J.H.S.; BORGES, M. R.; BALABAN, R. C. **Eficiência de emulsificantes aplicados a fluidos de perfuração de base sintética.** *Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás*, 6º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, p. 1-8, Florianópolis, 2011.
STRAUMANN, U. **Mechanism of the tonal emission from ac high-voltage overhead transmission lines.** *J. Phys. D Appl. Phys.*, 2011.

TERE, A. & PARASHARYA, B. M. **Flamingo mortality due to collision with high tension electric wires in Gujarat, India.** *J. Threatened Taxa* 3: 2192– 2201, 2011.

uyu