
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

EXPANSÃO DE REDES DE TRANSMISSÃO

VALDENIZA DA CONCEIÇÃO OLIVEIRA

**MARABÁ
2021**

VALDENIZA DA CONCEIÇÃO OLIVEIRA

EXPANSÃO DE REDES DE TRANSMISSÃO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Elétrica da Faculdade Unopar, sob a orientação do prof. Marcela Navarro Planucci, como requisito para elaboração do Trabalho de Conclusão de Curso.

**MARABÁ
2021**

AGRADECIMENTOS

Meus agradecimentos a minha mãe (Maria Félix da Conceição Oliveira), que sempre soube me passar a melhor educação que podia me dar dentro das suas possibilidades, sou muito grata a ti minha mãe, a senhora e a melhor mãe que eu poderia ter. Agradeço também as minhas irmãs (Vanusa, Deusivan, Débora e Danúbia) , meu pai (José Francisco de Oliveira), meus parentes, meus amigos, conhecidos e cada um daqueles que passaram pelo meu caminho até mesmo os que deixaram coisas negativas em minha vida, pois através de todas estas pessoas tenho certeza que aprendi um pouquinho.

A todos o meu muito obrigada.

Oliveira,Valdeniza da Conceição. **Expansão de redes de transmissão**. 2021. 38 folhas. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Unopar, Marabá, 2021.

RESUMO

O presente trabalho buscou, por meio da revisão de literatura em livros e artigos científicos, identificar os impactos ambientais relacionados à expansão das linhas de transmissão de energia elétrica no Brasil. Verificou-se a diversificação da matriz energética brasileira e o predomínio do uso das hidrelétricas. Observou-se a necessidade de gradativa expansão da produção, transmissão e distribuição de energia devido ao aumento da demanda. Acerca dos impactos ambientais provenientes das linhas de transmissão, que também incluem a construção e operação das subestações, constatou-se que são necessárias ações preventivas e que os impactos que vão desde a degradação ambiental, ao adoecimento e morte de pessoas e de animais. Observou-se que a redução dos impactos ambientais pode ser obtida por meio do incentivo ao uso de energias produzidas por fontes alternativas e do armazenamento de energia. No entanto, afirmou-se que a observação dos preceitos legais e os estudos de impacto ambiental, voltados à minimização dos prejuízos relacionados a cada uma das etapas da construção e utilização podem contribuir para a redução dos danos.

Palavras-chave: Redes de Transmissão. Energia Elétrica. Engenharia Elétrica.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Linha do tempo da energia elétrica no Brasil	14
Figura 2 - Distribuição da matriz elétrica brasileira	15
Figura 3 – Estruturas de torres de linhas de transmissão	21
Figura 4 – Linhas de transmissão de energia elétrica do Brasil	23
Figura 5 – Hidrelétricas na Região Amazônica.....	30
Figura 6 – Fundação para construção de uma subestação.....	32
Figura 7 – Ações e respectivos efeitos inerentes às linhas de transmissão	33

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 A PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA NO BRASIL	13
2.1 BREVE HISTÓRICO E EVOLUÇÃO	13
2.2 A MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA	14
2.3 A DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL	17
3 AS LINHAS DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL	20
4 OBSTÁCULOS E POTENCIALIDADES QUANTO À TRANSMISSÃO DE ENERGIA NO BRASIL: ASPECTOS AMBIENTAIS E DE SEGURANÇA	25
4.1 SEGURANÇA DO TRABALHO NAS LINHAS DE TRANSMISSÃO	25
4.2 IMPACTOS AMBIENTAIS RELACIONADOS ÀS LINHAS DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	27
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	36
REFERÊNCIAS.....	38

1 INTRODUÇÃO

A transmissão de energia elétrica é uma atividade que se caracteriza pela importância tanto social quanto econômica que representa, mormente diante da necessidade de provimento das demandas institucionais e residenciais, bem como da imprescindibilidade de que os serviços sejam pautados pela qualidade.

Nesse sentido, observa-se que a matriz energética brasileira, ainda que heterogênea, se fundamenta essencialmente na produção por meio de usinas hidrelétricas, situadas geralmente em pontos distantes dos locais onde efetivamente ocorre o maior consumo. Outra observação importante se refere à manutenção das linhas de transmissão, que é uma atividade complexa e que requer investimentos no sentido de se conferir segurança, efetividade e estabilidade às atividades.

Observa-se que o Brasil apresenta entre suas características suas grandes dimensões, que requerem das autoridades responsáveis pelo setor de energia elétrica a atenção no sentido de fazer chegar a todos os pontos do país a energia de qualidade, atendendo às necessidades da população, dos segmentos empresariais e as demandas oriundas da iluminação pública.

Desse modo, discute-se a importância da expansão das redes de transmissão, conferindo maior abrangência ao abastecimento de energia e proporcionando subsídios para a continuidade do desenvolvimento econômico e social do Brasil, que tem na qualidade do fornecimento de energia elétrica um componente imprescindível à sua efetivação.

Observa-se, nesse contexto, a necessidade de uma observação criteriosa a respeito dos impactos ambientais oriundos da expansão das redes de transmissão, buscando sua minimização. Assim, considerando as dimensões continentais do Brasil, as distâncias percorridas pelas linhas de transmissão e a necessidade de se aportar qualidade à tarefa de transmissão de energia elétrica, destaca-se a necessidade de adoção de formas de redução dos impactos ambientais resultantes das operações realizadas. Nesse sentido, pergunta-se: quais são os principais impactos ambientais provenientes da construção e utilização das linhas de transmissão de energia elétrica?

O objetivo geral do trabalho foi identificar os impactos ambientais relacionados à expansão das linhas de transmissão de energia elétrica no Brasil. Os objetivos específicos foram caracterizar a produção de energia elétrica no Brasil, considerando aspectos históricos e a evolução; contextualizar a transmissão de energia elétrica no

país, identificando os componentes técnicos relacionados à manutenção do sistema e investigar os obstáculos e as potencialidades inerentes ao sistema de transmissão elétrica no Brasil, destacando os aspectos relacionados aos impactos ambientais provenientes da atividade.

A pesquisa se justifica diante da realidade de contínuo aumento da demanda por energia elétrica, que requer a estabilidade e a qualidade no fornecimento, observando, inclusive, que as linhas de transmissão possuem função predominante no aporte destas características ao sistema. Nesse contexto, destaca-se a imprescindibilidade de que sejam analisados os impactos ambientais provenientes das linhas de transmissão de energia elétrica, com a indicação de meios para sua minimização.

A metodologia a ser empregada para a elaboração do trabalho é a pesquisa bibliográfica, de cunho qualitativo, com fundamento em livros e artigos científicos, predominantemente nas plataformas Scielo e Google Acadêmico. A pesquisa em meio eletrônico terá como descritores as palavras: “transmissão de energia”; “redes de transmissão”, “sustentabilidade” e “Engenharia Elétrica”.

2 A PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA NO BRASIL

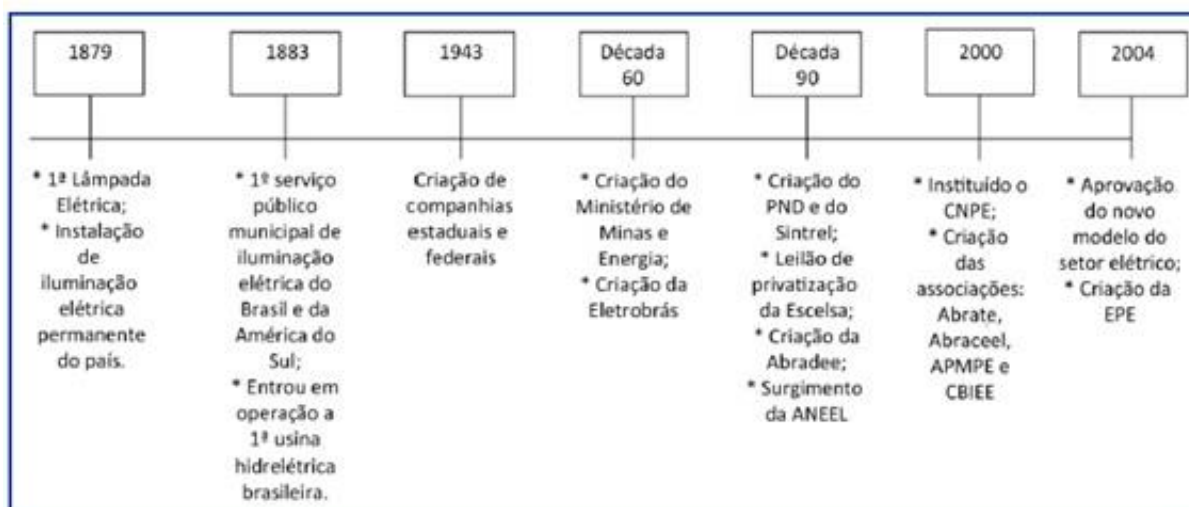
2.1 BREVE HISTÓRICO E EVOLUÇÃO

O segmento de energia elétrica se subdivide em quatro atividades clássicas, que são a produção, a transmissão, a distribuição e a comercialização. O transporte da energia elétrica diz respeito às etapas de transmissão, interconexão, subtransmissão e distribuição. Observa-se que no Brasil as tensões comumente utilizadas de transmissão, em corrente alternada, variam de 138 kV até 765 kV com o intervalo incluindo as tensões de 230 kV, 345 kV, 440 kV e 500 kV.

Como referência histórica, em 1794, o serviço de iluminação pública passava a ser pago pelos caixas públicos, iniciativa do vice-rei Conde de Rezende, que mandou instalar cerca de 100 luminárias a óleo pelos postes da cidade do Rio de Janeiro. O sistema utilizado, muito deficiente para uma cidade que já contava com cerca de 40.000 habitantes, estabelecia quatro lampiões nas ruas de maior movimentação e dois nas demais ruas. A segurança era a maior preocupação e por esse motivo o sistema de iluminação pública estava submetido à Intendência de Polícia. (LOPES, 2014).

Em 1876, D. Pedro II visitou a Exposição do Filadélfia e retornou ao Brasil animado com a energia elétrica. Convidou Thomas Edson para inserir suas invenções no Brasil, e em 1879 foi inaugurada a iluminação elétrica da estação central da Estrada de Ferro D. Pedro II (conhecida como Central do Brasil), composta por apenas seis lâmpadas Jablockhov acionadas a partir de energia elétrica gerada por dois dínamos. (SILVA, 2006). Diversas iniciativas foram gradativamente tomadas no sentido de se aprimorar a distribuição de energia elétrica no país, atendendo às necessidades surgidas no campo da produção e das residências. Nesse sentido, a história da produção de energia elétrica no Brasil possui diversas etapas, que indicam o estágio de desenvolvimento também dos meios de produção, além do aumento populacional e de outros indicadores.

Pode-se identificar que o desenvolvimento da produção de energia elétrica ocorreu de acordo com o crescimento econômico e demográfico do país, observando que essa evolução teve marcos de importante menção, desde a primeira instalação elétrica no Brasil. Essa linha do tempo pode ser observada na Figura 1:

Figura 1 – Linha do tempo da energia elétrica no Brasil

Fonte: Cunha et al. (2008)

Observa-se que até 2002, o setor elétrico brasileiro apresentava elevado nível de institucionalização, com elevado número de empresas e órgãos envolvidos, formado pelo agente público regulador, concessionárias de energia elétrica de capital estatal e privado, órgão financiador, entidade operadora do sistema interligado, por associações de classe e fornecedores de bens e serviços. Após a conclusão dos processos de privatização das empresas, pôde-se observar a redução significativa da participação estatal e a maior centralidade das ações estatais apenas no sentido de regulação e fiscalização (GOMES; VIEIRA, 2009).

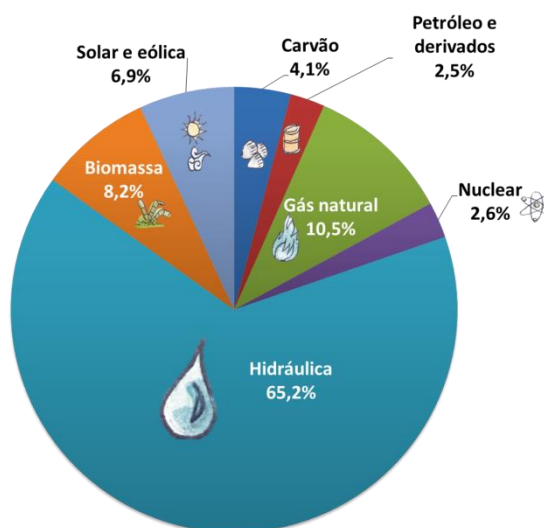
2.2 A MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

O Sistema Elétrico Brasileiro é composto por uma matriz energética diversificada, com energias renováveis e não renováveis, das renováveis pode-se citar a energia hidrelétrica, energia solar e eólica. Das não renováveis pode-se citar as termelétricas com uso de combustíveis fósseis, podendo ser gasolina, diesel ou gás. Porém 95% da matriz energética brasileira é de energia limpa e renovável, através do uso de energia das hidrelétricas (TOLMASQUIM, 2015). Os agentes envolvidos na transmissão e distribuição de energia no Brasil são os agentes institucionais e os econômicos.

De acordo com Tolmasquim (2015), o agente institucional detém as atribuições de regulação, fiscalização, planejamento e estruturação do setor para que seja viável seu funcionamento, enquanto que os agentes econômicos são aqueles que detêm o direito de concessão, permissão ou autorização para explorar as atividades econômicas de geração, transmissão, distribuição ou comercialização de energia, além também dos consumidores que fazem parte dos agentes econômicos.

Entre as fontes de energia renovável, onde são investidos recursos buscando seu aprimoramento, observa-se que a energia hidrelétrica é o principal meio. O Brasil é considerado como o segundo país que mais depende dessa forma de energia, ficando aquém apenas da Noruega desse aspecto. O país é também o segundo maior consumidor de energia elétrica, só sendo superado pela China. Diante desse elevado potencial de consumo, busca-se a utilização de outros meios, como a biomassa, a incineração de matéria orgânica para a produção de biogás, a energia solar, energia eólica e energia geotérmica (ANEEL, 2008). O predomínio da energia hidráulica no Brasil pode ser observado na Figura 2, que indica a distribuição da matriz elétrica nacional:

Figura 2 - Distribuição da matriz elétrica brasileira



Fonte: EPE, 2019

Verifica-se, de modo geral, que o trabalho no campo da geração e distribuição da energia tem como objeto a ser buscado a eficiência energética. Conforme a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2008), a busca pela eficiência

energética possui grande importância no país, observando que não basta o aumento da oferta de energia para que se consiga o equilíbrio entre a mesma e a demanda.

Observa-se a necessidade de manutenção da disponibilidade energética em compatibilidade com o acentuado aumento do consumo induzido pelo ciclo de crescimento econômico, que ocorre principalmente nos países em desenvolvimento. Para que ocorra o aumento desta disponibilidade, no entanto, é necessária a substituição das fontes tradicionais por recursos que possam trazer menos impactos ambientais. Trazendo como exemplo a energia eólica, Domingues (2010) afirma que esta representa a energia cinética contida nas massas em movimento e a captação da mesma é feita por meio da conversão de energia cinética por energia mecânica, que atua sobre os aerogeradores e tendo como produto final a energia elétrica. Existem também os moinhos onde a energia cinética captada do vento pode ser utilizada sem antes passar a ser energia elétrica, sendo utilizada para bombeamento d'água e outros trabalhos mecânicos.

Abordando a biomassa, Camargo (2017) afirma que a mesma é toda matéria orgânica de origem animal ou vegetal passível de utilização na produção de energia, sendo que entre as principais matérias primas utilizadas estão a cana-de-açúcar, o eucalipto e o lixo orgânico, que resulta na produção de biogás.

Através da geração por biomassa obtém-se a cogeração que possibilita utilizar-se de duas formas simultaneamente calor e energia, sendo que a indústria do álcool utiliza deste modelo há muito tempo. Quando se trata de cogeração, tanto as distribuidoras de energias como as instituições governamentais oferecem grande incentivo, considerando que a prática evita desperdício e contribui para o meio ambiente (CAMARGO, 2017). Outra fonte de energia que vem sendo difundida no país e oferecem diversas vantagens é a energia solar.

Conforme Timilsina, Kurdgelashvili e Narbel (2011), a energia solar possui um potencial que excede em muito a demanda total de energia global da sociedade. Apesar do imenso potencial do sol como fonte de energia primária, da redução significativa dos custos de capital para implantação de usinas solares, do aumento dos preços dos combustíveis fósseis e do crescimento do mercado, a participação da energia solar como fonte renovável na matriz energética global ainda é pequena.

A utilização de energia solar fotovoltaica requer a atenção a alguns requisitos, sendo que no presente capítulo serão destacados alguns dos principais pontos a serem observados. O primeiro procedimento a ser observado é a definição da área

apropriada, com melhor potencial e melhor custo benefício para instalação, levando em conta os critérios técnicos determinados pela Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012 (BRASIL, 2012).

Observa-se que o setor residencial brasileiro é responsável por vinte e quatro por cento de toda energia elétrica consumida do país. Nesse sentido, o uso de geradores fotovoltaicos integrados ao envoltório de edificações e operando conectados à rede de baixa tensão apresentam-se como opção para utilização em sistema de compensação através dos medidores bidirecional (SANTOS; PEREIRA JÚNIOR; SANTOS, 2004). Destacadas as diversas formas de produção de energia elétrica e diante do predomínio da energia obtida por meio das hidrelétricas, observa-se a importância das atividades de distribuição de energia elétrica.

2.3 A DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

O uso da energia elétrica e o perfeito funcionamento dessa estrutura administrativa só se torna possível quando o consumidor recebe este produto com qualidade. Para isto o bom estado das redes de distribuição de energia elétrica deve ser considerado, bem como o “feedback” das ocorrências precisam existir, tendo em vista que a concessionária de energia, mediante a ações impositivas da Agencia Nacional de Energia Elétrica, assume prazos a cumprir que, no seu descumprimento gerariam sanções financeiras e/ou administrativas (ANEEL, 2016)

Segundo a Aneel (2016), o sistema de distribuição se divide conforme os segmentos de rede, que pode ser de alta, média e baixa tensão, transformadores, ramais de ligação e medidores. São aplicados modelos específicos para cada segmento, utilizando-se informações simplificadas das redes e equipamentos existentes e com base nessas informações, pode-se estimar o percentual de perdas técnicas relativas à energia injetada na rede. Nesse contexto, faz-se importante a correta realização das atividades de inspeção.

A inspeção tem como objetivo identificar as irregularidades e anomalias existentes no sistema de distribuição que, se não corrigidas a tempo, resultarão em falhas e interrupções ao fornecimento de energia elétrica. Nesse ponto, passa-se a observar que a manutenção das redes de distribuição, apesar de ter como prioridade a atuação em caráter preventivo e mesmo preditivo, indicadas ao longo do presente trabalho como mais viáveis e eficientes, necessita da eficiência no trabalho corretivo,

compreendendo que mesmo que ele possa ser minimizado ante uma adequada postura preventiva, ainda ocorrerão diversas situações onde os reparos far-se-ão necessários (LIMA FILHO, 2015).

Conforme a Agência Nacional de Energia Elétrica, no Brasil operam cento e cinco distribuidoras de energia, sendo treze cooperativas de eletrificação rural, trinta e oito permissionárias e cinquenta e quatro concessionárias. As cooperativas de eletrificação rural operam a título precário, estando em processo de regularização para se tornarem permissionárias ou concessionárias (ANEEL, 2020).

Um aspecto importante no que se refere ao consumo de energia elétrica refere-se à iluminação. Quando somado o consumo público com o que é utilizado nas residências, verifica-se a representatividade da iluminação no total consumido no país. A iluminação artificial é responsável por parcela importante do consumo de energia elétrica no Brasil, sendo responsável por 17% de toda energia consumida e representando 24% do consumo no setor residencial e por um percentual acima de 44% do consumo no setor de comércio e serviços (BRASIL, 2007).

O dispêndio de energia deve ser considerado também sob o prisma do consumo público, no campo da infraestrutura com o funcionamento de equipamentos públicos e iluminação. Segundo Aver (2013), em 2008 existiam aproximadamente quinze milhões de pontos de iluminação pública instalados no Brasil e pesquisas apontam a influência da iluminação pública na segurança pública, onde a melhoria nas condições das mesmas resultou na drástica redução na criminalidade. Esse elevado quantitativo indica a representatividade da iluminação pública no tocante ao consumo de energia elétrica.

A iluminação urbana permite ir muito mais além dos aspectos elétricos e objetivos considerados, abrangendo igualmente os subjetivos que requerem o apoio das empresas especializadas no trato da luz urbana para surtirem os efeitos desejados (SCHULZ, 2016).

A iluminação pública é reconhecidamente um dos maiores meios de consumo de energia no país. A mesma é definida como sendo a atividade que objetiva o provimento de claridade ou luz “artificial aos logradouros públicos no período noturno ou nos escurecimentos diurnos ocasionais, incluindo locais que demandem iluminação permanente no período diurno” (ROSITO, 2009, p. 39).

Segundo um levantamento cadastral realizado pelo PROCEL/ELETOBRAS, feito em 2008 junto às distribuidoras de energia elétrica há 15 milhões de pontos de

iluminação pública instalados no país, aproximadamente. Desses pontos, 46,21% localizam-se na Região Sudeste, 21,39% no Nordeste, 19,15% no Sul, 9,40% no Centro-Oeste, e 3,85% na Região Norte. A demanda da Iluminação Pública no Brasil é de aproximadamente 2,2 GW, e a um consumo de 9,7 bilhões de kWh/ano correspondendo a 4,5% do total nacional. O consumo é da ordem de 10,3 bilhões de kWh/ano, o que equivale a 3,4% do consumo total de energia elétrica do país. (SCHULZ, 2016).

3 AS LINHAS DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

Observa-se que a estruturação do setor elétrico brasileiro segue um padrão que é semelhante ao que é predominantemente utilizado na maior parte dos países e que esse setor sofreu diversas modificações nos últimos anos e, com isso, as agências reguladoras também definiram novas regras para a prestação dos serviços públicos de fornecimento de energia elétrica (KAGAN, 2005). Este setor a cada ano que passa vem se expandindo, aumentando sua capacidade de fornecimento de energia e a inserção de modalidades de contratos inovadores, o que passa a exigir maior qualidade no que se refere aos trabalhos de operação e manutenção, bem como requer a implantação de uma maior extensão de linhas de transmissão.

O primeiro passo a ser dado na análise de uma linha de transmissão é saber que esta é caracterizada pelo fato de seus parâmetros serem distribuídos ao longo de seu comprimento. Deste modo, as tensões e correntes envolvidas na linha se comportarão como ondas, encontrando soluções matemáticas nas chamadas equações diferenciais, que podem ser resolvidas em duas frentes, que são no domínio do tempo ou no domínio da frequência. De modo geral, a solução no domínio da frequência se torna mais acessível do que no domínio do tempo (PINTO, 2018).

As linhas de transmissão podem ser curtas, médias ou longas. No caso em que a linha tiver menos de 80 km, trata-se de uma linha curta. Se a linha tiver entre 80 km e 240 km, diz-se que se trata de uma linha média e se uma linha for maior do que 240 km os parâmetros têm de ser considerados uniformemente distribuídos ao longo da linha (PINTO, 2018).

A disposição dos parâmetros que representam uma linha de transmissão depende do comprimento desta, sendo mostrados na forma de um circuito elétrico. A análise é feita para três situações: para uma linha de transmissão curta, para uma média e para uma longa (PINTO, 2018).

A instalação de linhas de transmissão possui etapas que trazem influência significativa nas áreas, com a instalação das torres, que exige a limpeza e mesmo a supressão de vegetação, quando for o caso, das áreas onde elas serão construídas. Exige-se também a escavação do solo para a fixação e as montagens das estruturas metálicas (IMA, 2019).

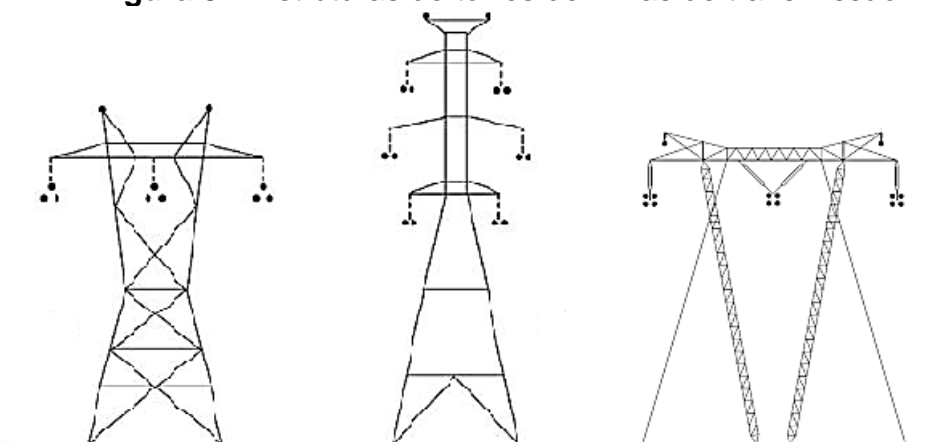
A importância das linhas de transmissão de energia elétrica se mostra evidente principalmente num país de dimensões continentais como o Brasil. Existe, nesse caso,

o desequilíbrio entre a localização das unidades de produção de energia e os locais onde a mesma é consumida. O Brasil é autossuficiente na produção de energia, porém a transmissão e a distribuição se apresentam como problemas, observando, por exemplo, que a distância entre as unidades produtoras e os grandes centros são muito grandes, como os quase mil quilômetros entre a Usina de Itaipu e São Paulo. As tecnologias atualmente utilizadas obtêm êxito nesse transporte, mas o custo da energia se torna elevado (THÉRY; MELO-THÉRY, 2016).

As atividades principais relacionadas às linhas de transmissão são os serviços de reparo, instalação, retirada, correção, substituição e montagem de componentes e materiais durante as manutenções preventivas ou corretivas. Nesse contexto situam-se os trabalhos de substituição de vigas e pórticos em estrutura metálica, transmissão de estrutura com isoladores em suspensão e em ancoragem, instalação e retirada de by-pass, instalação, retirada e substituição de jumper, substituição de para-raios, limpeza de isoladores, substituição da cadeia de isoladores em linha viva, substituição de aterramento, inspeção visual ao longo da linha e retirada de pontos quentes (ARRUDA et al., 2017).

A transmissão de energia elétrica consiste no transporte de energia entre dois pontos, geralmente por meio de corrente alternada, utilizando-se de linhas de transmissão de alta potência. As estruturas de suporte são os elementos que sustentam os cabos das linhas de transmissão. Na Figura 3 podem ser observadas três tipos de torres:

Figura 3 – Estruturas de torres de linhas de transmissão



Fonte: Lima (2013)

As torres mostradas na Figura 1 são, respectivamente, tipo delta, pirâmide e estaiada em V. A escolha leva em consideração a altura de segurança, a função mecânica, a distância e disposição dos condutores, entre outras variáveis (ARANTES, 2016).

Arantes (2016) define as linhas de transmissão como sendo os sistemas físicos utilizados para o transporte de um sinal elétrico entre um gerador e uma carga através de um campo eletromagnético. As linhas de transmissão são apresentadas em diferentes modelos, podendo ser linhas subterrâneas, linhas aéreas e linhas mistas.

As perdas elétricas passíveis de ocorrência na transmissão até os centros de distribuição são evitadas por meio da utilização de níveis de tensões elevadas, sendo que a classificação das linhas é feita de acordo com essa tensão. As variáveis relacionadas à linhas de transmissão, entre outras, são o valor da tensão de transmissão; a quantidade, o tipo, a disposição e as bitolas dos cabos utilizados; a quantidade e o tipo de isoladores empregados e as distâncias de segurança; a quantidade de circuitos trifásicos e os materiais estruturais, bem como a forma com que os suportes resistem aos esforços. As partes principais de uma linha de transmissão são as estruturas de suporte, as estruturas isolantes, os acessórios e cabos condutores de energia (ARANTES, 2016).

Os cabos condutores de energia nas linhas de transmissão têm como características essenciais o baixo peso específico, a boa resistência mecânica, a alta condutibilidade elétrica e a elevada resistência à corrosão por agentes químicos poluentes e à oxidação. Já as estruturas isolantes se caracterizam pela resistência às solicitações mecânicas e elétricas, já que sua função é de manter os cabos isolados eletricamente de seu suporte e do solo.

As LTs brasileiras se classificam conforme o nível de tensão de sua operação, que é indicado em Kilo Volt (kV). A faixa de tensão se referem às suas classes, a saber, A1, com tensão de fornecimento igual ou superior a 230 kV, A2, que apresenta tensão de fornecimento de 88 kV a 138 kV e A3, com a tensão de fornecimento de 69 kV. A classe A1 representa o Sistema Interligado Nacional (SIN), que é chamado também de de básica. As classes A2 e A3, ou são de propriedade das transmissoras ou indicam as redes de sub-transmissão administradas pelas empresas de distribuição na maioria dos casos (PEREIRA, 2014).

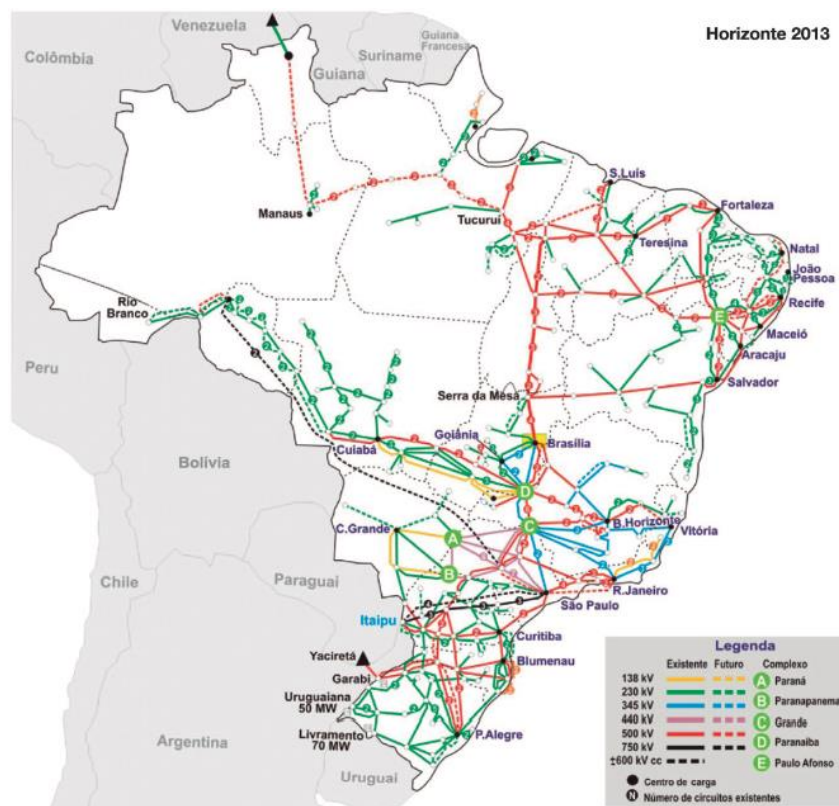
Verifica-se a existência da vedação a algumas atividades ao longo das faixas de servidão das linhas de transmissão, como a construção de edificações, plantação

de árvores médias e grandes, culturas nas quais são processadas queimadas, queimadas de qualquer natureza, escalar as torres, realizar qualquer tipo de recreações, soltar pipa, realizar instalações mecânicas ou elétricas, depósitos de lixo, entre outras (IMA, 2019).

As linhas de transmissão percorrem extensões significativas, o que requer um criterioso trabalho de manutenção principalmente em caráter preventivo, observando inclusive a integridade das estruturas e o entorno. Por exemplo, verifica-se a importância do manejo da vegetação sob as linhas de transmissão, que é uma atividade que envolve aspectos técnicos e aspectos ambientais (XAVIER et al., 2007).

O Brasil tem um território de mais de 8,5 milhões de km², que são dimensões continentais, do porte da Europa. Com uma área tão extensa e uma população superior a 190 milhões de habitantes, é fácil prever que o fornecimento-transmissão de energia não será uma tarefa trivial. Na Figura 4 pode-se observar o Sistema Interligado Nacional, com as linhas de transmissão do país.

Figura 4 – Linhas de transmissão de energia elétrica do Brasil



Fonte: Pinto (2018)

No Brasil, ainda existe o assunto não resolvido da geração e transmissão de grandes blocos de energia para a região amazônica (PINTO, 2018). Nesse sentido, a expansão destas linhas mostra-se como uma necessidade na medida em que ocorre a maior demanda por energia e também no sentido de que se mostra necessária a racionalização dos custos inerentes à transmissão, bem como a observação dos aspectos que se referem à segurança do trabalho e às variáveis que dizem respeito ao meio ambiente.

4 OBSTÁCULOS E POTENCIALIDADES QUANTO À TRANSMISSÃO DE ENERGIA NO BRASIL: ASPECTOS AMBIENTAIS E DE SEGURANÇA

4.1 SEGURANÇA DO TRABALHO NAS LINHAS DE TRANSMISSÃO

A dimensão do atendimento de energia elétrica no país indica a complexidade inerente à manutenção das redes de transmissão e de distribuição. A manutenção na área pode ser classificada como manutenção corretiva, preventiva, preditiva e detective (XAVIER, 2005). Nesse ponto, observa-se a necessidade de que as atividades voltadas à manutenção das linhas de transmissão seja pautada pela maior segurança possível, considerando os riscos inerentes à atividade.

O surgimento das linhas de transmissão, há mais de 100 anos, deu imediatamente início a discussões públicas. Quando a primeira foi construída, o número de eletrochoques aumentou, pois, as pessoas estavam subindo nas torres, usando pipas e tocando no cabo de sustentação. Assim que o público tomou consciência do perigo do choque, foi o efeito estético das linhas de transmissão que passou a provocar discussões públicas (PINTO, 2018, p. 80).

Os métodos de manutenção de linha viva são ao contato; ao potencial e à distância. Na modalidade ao contato, ocorre a realização das tarefas em que o eletricitista entra em contato direto com o condutor energizado, estando protegido por meio da utilização de cestos aéreos, andaimes, escadas e plataformas isoladas. Na manutenção de linha viva ao potencial, o eletricitista entra em contato direto com a tensão da rede, no mesmo potencial (LIMA FILHO, 2015).

Assim, é imprescindível a utilização de medidas de segurança que garantam o mesmo potencial elétrico em todo o corpo inteiro do trabalhador, devendo ser utilizado conjunto de vestimenta condutiva ligadas à rede através de cabo condutor elétrico e cinto. Na manutenção de linha viva à distância, a realização de tarefas ocorre com o eletricitista entrando em contato direto com a rede de distribuição energizada por meio do uso de bastões de fibra de vidro e outras ferramentas, com o profissional se mantendo em lugares considerados no potencial de terra, sempre à distância segura das partes energizadas (LIMA FILHO, 2015).

Arruda et al. (2017) afirmam que os principais riscos inerentes à atividade de manutenção e demais ações relacionadas ao trabalho nas linhas de transmissão se referem ao contato com a eletricidade durante as intervenções, ao colapso estrutural

das torres devido à ação de intempéries ao desgaste natural e à queda de nível diferente durante o acesso e realização de atividades nas torres de transmissão.

As principais ações passíveis de adoção em caráter preventivo incluem a Avaliação Preliminar de Riscos e Identificação e Avaliação de Aspectos e Impactos (VALE, 2018). Essa análise tem como resultado a matriz de risco, que irá nortear as ações a serem empreendidas, sendo dividida em situação de risco puro, onde não são considerados os controles, e risco atual, onde são considerados os controles de prevenção, monitoramento e mitigação em seu nível real e efetivo. A aplicação da gestão de segurança tem como resultado o chamado risco atual.

Uma importante iniciativa no contexto da manutenção das linhas de transmissão de 230 kV foi realizada pela Vale, em São Luís, no Maranhão. A ação diz respeito à utilização de drones na inspeção das linhas de transmissão, com o acompanhamento realizado pela equipe de manutenção especializada. São também realizados simulados de emergência nas torres de transmissão com o objetivo de capacitar a equipe para as operações de autor resgate e de resgate (ARRUDA et al., 2017). Esta medida tem o fito de reduzir a exposição dos trabalhadores aos riscos, do mesmo modo que segue uma tendência pela modernização e mesmo automação de processos.

Macedo e Menezes (2015) identificaram uma ação de caráter preventivo voltada à segurança ocupacional em linhas de transmissão, por meio da Análise Preliminar de Risco. Por meio dessa ferramenta de gestão de risco, são realizados o mapeamento e a gestão de riscos do processo, definindo medidas voltadas à redução, eliminação e controle nos processos. Quanto à mitigação dos riscos, o Plano de Resposta à Emergência diz respeito às ações a serem tomadas diante de falhas nas ações de caráter preventivo, com a ocorrência de acidentes.

No que se refere aos aspectos normativos da prevenção de acidentes nas linhas de transmissão, a abordagem é realizada pela NR-10. A NR-10 pode ser compreendida como um conjunto de ações corretivas e emergenciais, já que se trata de um requisito legal para a qualificação por meio do conhecimento dos riscos elétricos passíveis de ocorrência com os trabalhadores que atuam com eletricidade (SOUZA, 2010).

No sentido da barreira comportamental para se evitarem acidentes relacionados às linhas de transmissão, podem ser incluídas as posturas que se relacionam aos aspectos psicológicos, compreendendo que a evolução da cultura de

segurança envolve elementos diversos inerentes às vivências do profissional tanto no ambiente de trabalho quanto em sua vida pessoal (COUTO, 2009).

A prevenção da maioria parte dos riscos relacionados aos fatores ambientais independe de ações prévias da empresa, se agravando devido às características emergenciais dos serviços. Destaca-se a necessidade de trocas de experiências entre os trabalhadores, considerando que mesmo diante de todo o aparato técnico e treinamento, em algumas situações a habilidade e as iniciativas individuais ante as situações inesperadas podem fazer toda a diferença. Assim, o enfrentamento aos riscos deve compreender, além do reconhecimento das condições de insegurança ambiental e a identificação dos riscos mais incidentes, o treinamento e a troca de experiências entre os profissionais (MELO et al., 2003).

Conforme IMA (2019), os procedimentos principais quanto à segurança e aos aspectos ambientais a serem adotados para a montagem das estruturas referem-se à preservação das áreas destinadas às atividades de construção, principalmente reduzindo a utilização de equipamentos de grande porte; à execução dos serviços de montagem dentro das áreas estipuladas para as respectivas praças de torre, com a manutenção do recolhimento de resíduos sólidos.

Quando realizadas próximas às áreas habitacionais, é necessária a construção de proteção no sentido de se evitarem acidentes depois de instaladas as torres, devem ser colocados os cabos condutores e para-raios instalados em locais distantes de encostas íngremes ou de difícil acesso, longe de cursos d'água ou que possuam vegetação nativa (IMA, 2019). Estes procedimentos têm como finalidade a proteção à população, aos trabalhadores e ao meio ambiente. Abordando a questão ambiental, destaca-se que a instalação e a manutenção das linhas de transmissão traz consigo significativos impactos ambientais, de necessária análise e minimização.

4.2 IMPACTOS AMBIENTAIS RELACIONADOS ÀS LINHAS DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Como a maioria das atividades econômicas, a implantação e manutenção das linhas de transmissão não pode isentar-se da preocupação com os aspectos ambientais relacionados, relacionados ao trabalho cotidiano. Guerra e Marçal (2006) afirmam que praticamente todas as atividades humanas causam algum tipo de

modificação na superfície terrestre, sendo que algumas têm maior poder de degradação.

Nesse aspecto, pode-se considerar que em tais atividades, a preocupação de caráter preventivo deveria ser maior, voltando-se ao desenvolvimento de meios de produção que se caracterizem por promover menos danos ao meio ambiente (GUERRA; MARÇAL, 2006).

A superação dos problemas ambientais apresenta-se como uma importante função dos governos e autoridades, além da própria sociedade civil. Verifica-se, nesse sentido, o desenvolvimento de um extenso arcabouço teórico voltado à proteção ambiental. No entanto, Limmer (2018) observa que a legislação ambiental em alguns casos não é direcionada para a superação dos problemas ambientais, sendo, como no exemplo da indústria do petróleo, mais direcionada à responsabilidade civil das empresas que venham a descumprir os preceitos. O autor avalia que o desenvolvimento econômico é priorizado pela legislação ambiental em desfavor do equilíbrio sustentável.

Verifica-se a importância da realização de diagnósticos ambientais e análises a respeito dos impactos ambientais envolvidos no processo produtivo. Existe também a necessidade de implantação sistemas de gestão ambiental, observando que algumas indústrias se preocupam em atender primeiramente às exigências legais inerentes ao licenciamento ambiental e depois a atenção se volta à eficiência produtiva com a redução no uso de recursos (MORO et al., 2015).

Observa-se que os conceitos de sustentabilidade e de desenvolvimento sustentável se tornaram componentes de necessária discussão e análise por parte das organizações em todos os segmentos, onde se incluem os diversos setores produtivos. A sustentabilidade é definida como sendo toda ação voltada à manutenção das condições energéticas e físico-químicas que sustentam os seres, indicando uma superação da visão do homem como o centro de toda a vida no universo até então vigente e trazendo uma observação ampla que traz a todos os elementos, com e sem vida, a importância na construção, aprimoramento e manutenção da qualidade de vida (BOFF, 2012). Observado o contexto das atividades econômicas que proporcionam danos significativos ao meio ambiente, pode-se observar o setor de produção, transmissão e distribuição de energia elétrica.

Observa-se que as linhas de transmissão atravessam longas distâncias e paisagens. Essa extensão potencializa os riscos de danos ambientais. A legislação

ambiental das linhas de transmissão foi atualizada em 2011 por meio da Portaria do Ministério do Meio Ambiente nº 421/2011 (BIASOTTO; KINDEL, 2018). Entre outros pontos, a portaria define que:

Os empreendimentos considerados de significativo impacto ambiental, independente da tensão e extensão, exigirão a apresentação e aprovação de estudo de impacto ambiental e respectivo relatório de impacto ambiental-EIA/RIMA quando a área da subestação ou faixa de servidão administrativa da linha de transmissão implicar em: I - remoção de população que implique na inviabilização da comunidade e/ou sua completa remoção; II - localização em sítios de: reprodução e descanso identificados nas rotas de aves migratórias; endemismo restrito e espécies ameaçadas de extinção reconhecidas oficialmente; e III - supressão de vegetação nativa arbórea acima de 60% da área total da faixa de servidão definida pela declaração de utilidade pública ou de acordo com a NBR 5422 e suas atualizações, conforme o caso (BRASIL, 2011, p. 208).

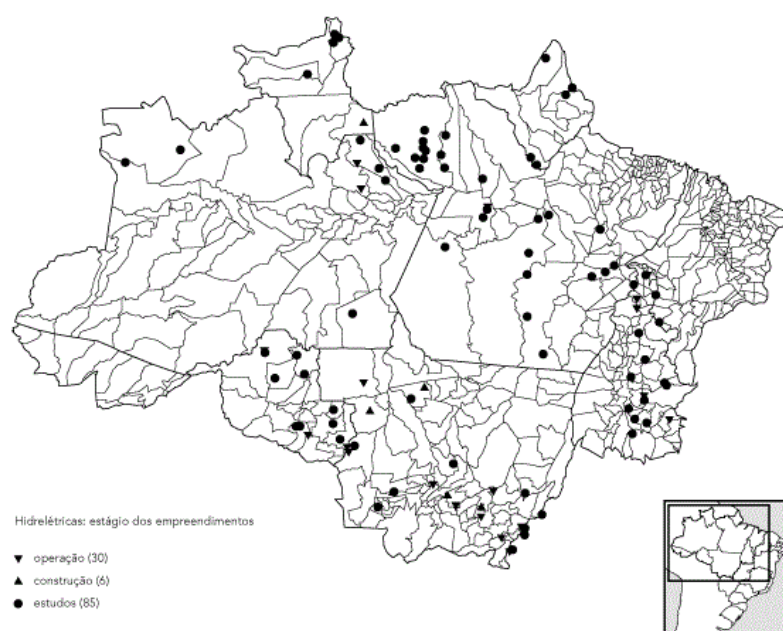
No entanto, um dos obstáculos à efetividade do cumprimento da legislação ambiental situa-se no fato de que ocorre a concessão dos empreendimentos de transmissão antes mesmo da comprovação de sua viabilidade ambiental, com uma lógica inversa do que é preconizado em outros setores. Importa, nesse sentido, compreender que não apenas as linhas de transmissão oriundas das hidrelétricas, no contexto da energia elétrica, trazem impactos ambientais, mas também a produção de energia eólica, que traz prejuízos especialmente às aves (BIASOTTO; KINDEL, 2018).

Existem normas referentes ao espaço ocupado pelas torres de transmissão de energia elétrica e ao entorno. Sabe-se que são necessárias as condições básicas para o projeto de linhas aéreas de transmissão, para garantir níveis mínimos de segurança e de limitar as perturbações em instalações próximas. No Brasil, essa determinação é encontrada na Norma NBR 5422/85, definida pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), destinada aos Projetos de Linhas Aéreas de Transmissão de Energia Elétrica e que se aplica aos projetos de linhas aéreas com tensão máxima eficaz fase-fase entre 38 kV e 800 kV (PINTO, 2018).

A NBR 5422/85, que substituiu a NB 182 de 1972, contém os parâmetros que devem ser seguidos para o cálculo da largura, que também é denominada como faixa de servidão, da área a ser mantida livre de ocupações. A faixa de servidão é proporcional à tensão de linha; quanto maior for esta, maior será a área restritiva (PINTO, 2018).

O desenvolvimento ocorrido de acordo com a demanda, que passou a exigir a reformulação gradativa das estruturas governamentais e privadas, pode ser observado como um importante indicador do desenvolvimento do próprio país, com o crescimento não apenas populacional, mas com a instalação de estabelecimentos empresariais de todos os ramos e de diferentes portes e com a chegada de energia elétrica a pontos remotos do país. Já em 2001, podia-se observar o nível dessa expansão, conforme consta no mapa da Figura 5:

Figura 5 – Hidrelétricas na Região Amazônica



Fonte: Koifman (2001)

Observando a distribuição das hidrelétricas no mapa e a baixa densidade demográfica da região amazônica, que indica que a quase totalidade da energia produzida não é para utilização local, depreende-se que a transmissão da energia para que esta seja distribuída até o consumidor final requer uma extensa rede de transmissão, principalmente num cenário de expansão.

A respeito dessa expansão, pode-se considerar que a demanda por energia, fornecida em caráter de simultaneidade com a produção, pode suscitar a utilização de formas de armazenamento, principalmente em sistemas de grande porte e em locais como os indicados (KOIFMAN, 2001).

Observando a dimensão geral do consumo de energia elétrica no país, verifica-se que em 2008 aproximadamente 95% da população possuía acesso à mesma,

sendo que existiam à época mais 61,5 milhões de unidades consumidoras, com 85% delas representadas por residências, em 99% dos municípios. As particularidades geográficas existentes em muitas localidades dificultam o abastecimento de energia, que exige, em alguns casos, a existência de sistemas isolados de abastecimento por meio de usinas térmicas movidas a óleo combustível, e óleo diesel, pequenas centrais hidrelétricas e centrais geradoras hidrelétricas (ANEEL, 2008). Essas grandes distâncias, na impossibilidade de serem atendidas pelos sistemas isolados, também são atendidas por meio das linhas de transmissão, a partir das hidrelétricas.

Em sua estrutura, uma usina hidrelétrica convencional é composta por uma barragem, onde se armazena a água que por sua vez passa pela casa de máquinas onde encontramos as turbinas que interage com gerador e mandando a energia para subestação elevadora da usina. A barragem tem como sua principal função a captação d'água e dimensionar a vazão em tempos de chuva e seca. Existem as usinas de fio d'água onde as turbinas aproveitam a velocidade do rio para girar suas turbinas gerando energia elétrica, tais não necessitam de grandes áreas alagadas e não tem reservatórios. As hidrelétricas contam com o varadouro que é utilizado para esgotar o excesso de água geralmente por causa de chuva (ANEEL, 2008).

A produção de energia por meio das hidrelétricas exige uma vazão considerável contando com um desnível sendo ele natural ou artificial para que tenha pressão suficiente para girar as turbinas (RODRIGUES, 2010). Observa-se, desse modo, que a topografia é um ponto de necessária consideração para a implantação de uma usina hidrelétrica e que as distâncias entre estas e os locais de distribuição, por serem elevadas, exigem uma extensa rede de transmissão.

Entre os impactos trazidos pelas obras relacionadas às linhas de transmissão encontram-se as alterações na qualidade do ar, a perturbação da população no entorno, o favorecimento à proliferação de vetores, o deslocamento da fauna, a redução da cobertura vegetal, as alterações na qualidade da água e o aumento do escoamento superficial e da erosão (TURMINA et al. 2018).

A remoção da cobertura vegetal da região pode afetar permanentemente a população local, modificando o microclima da região, deteriorando o solo e modificando os habitats dos animais e os hábitos de vida da população, bem como alterando a paisagem. Esta degradação pode causar tanto efeitos imediatos quanto de longo prazo, para as gerações futuras e presentes (SENÇO, 2008).

As condições naturais para a implantação das usinas geralmente são encontradas em locais afastados das áreas onde comumente se processa a maior parte do consumo da energia elétrica, o que pode exigir uma atenção quanto aos recursos naturais. Observa-se que a subestação é o elo final da cadeia de transmissão de energia elétrica, com o rebaixamento da tensão e o início da distribuição. Assim, a subestação é a instalação que recebe energia elétrica em alta voltagem e realiza a conversão para baixa, buscando a distribuição posterior para os consumidores. A conversão nas subestações é realizada pelos transformadores de energia elétrica (DINIZ, 2003). Estas subestações são responsáveis por significativos impactos ambientais.

As subestações, quanto ao impacto ambiental, são equivalentes a uma planta industrial comum, já que trazem influências no que diz respeito ao uso do solo, desde o processo de preparação para sua construção. Esta construção envolve a movimentação do solo, a retirada da cobertura vegetal e muitas vezes a incorreção quanto ao descarte dos resíduos líquidos e sólidos. Além disso, importa considerarem-se as intervenções em locais de interesse histórico, nas áreas comunitárias e cultural e nos equipamentos sociais (PIRES, 2005). Na Figura 6 pode ser observada a fundação de uma subestação.

Figura 6 – Fundação para construção de uma subestação



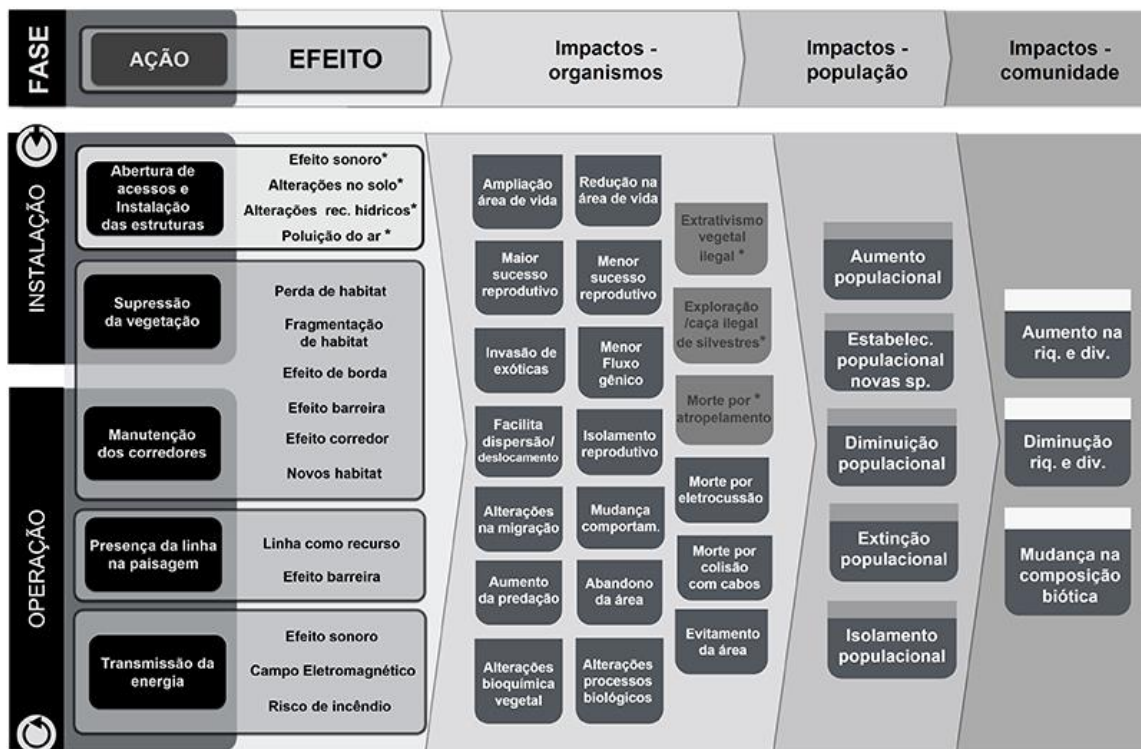
Fonte: Rio Grande do Sul (2020)

A obra da subestação trazida como exemplo na Figura 6 compõe o total de mais de 591 km de obras de linhas de transmissão, envolvendo diversas cidades. Os

impactos ambientais no bioma pampa seriam significativos, não fossem observados os aspectos legais e mesmo as diretrizes operacionais que se relacionam à preservação ambiental na execução dessas atividades (RIO GRANDE DO SUL, 2020). Em construção desse tipo, os impactos trazem diversos tipos de influência no meio ambiente.

Observa-se que a variedade dos impactos ambientais proporcionados pela implantação e pela manutenção das linhas de transmissão de energia elétrica exige a adoção de meios efetivos de minimização. Biasotto e Kindel (2018) analisaram 206 artigos e 19 estudos de impacto ambiental, tendo identificado 28 impactos que correspondem aos resultados bióticos nos níveis individual, populacional e comunitário. Uma visão ainda mais abrangente dos possíveis impactos trazidos pelas linhas de transmissão e pelo aparato a elas relacionado pode ser verificada na Figura 7:

Figura 7 – Ações e respectivos efeitos inerentes às linhas de transmissão



Fonte: Biasotto; Kindel (2018)

A maioria dos impactos, no entanto, são considerados como reversíveis, como a erosão, que pode ser eliminada por meio da recomposição e do restabelecimento da capacidade do solo. Mostra-se importante também a recomposição da vegetação,

pois sua supressão traz alterações às características do habitat (TURMINA et al., 2018).

Koifman (2001) indica a influência das linhas de transmissão no âmbito das comunidades indígenas, com interferências diretas e indiretas. Aproximadamente um terço dessas comunidades sofre com estas influências, com a utilização de potentes desfolhantes para a limpeza das áreas de servidão das linhas de transmissão com a finalidade de controle do crescimento da vegetação, o que pode conduzir à intoxicação exógena aguda, contaminação dos cursos d'água e morte de animais. Verificam-se também casos de leucemia e câncer no cérebro entre os indígenas que vivem próximos às linhas de transmissão de energia elétrica.

O cuidado com a vegetação também é um ponto de necessária observação no que diz respeito à manutenção das linhas de transmissão. Esse manejo sob as linhas de transmissão não pode ser uma atividade realizada de modo aleatório, já que envolve aspectos técnico ligados à atividade-fim da empresa e aspectos ambientais, que a eles se correlacionam de modo direto e que ao trabalho da Engenharia Ambiental. Importa considerar que a análise realizada nos locais, sob supervisão, tem como preocupações principais a observação a respeito do hábito de crescimento das espécies em áreas não-perturbadas; a taxa de crescimento da vegetação; ações distintas nas regiões imediatamente abaixo da rede elétrica, na faixa de servidão e acima da faixa de servidão. A execução do plano de manejo, associado às constantes avaliações técnicas, possibilitarão a adequação da metodologia para as diferentes situações ambientais (XAVIER et al., 2007).

Verifica-se que uma das propostas para redução dos impactos ambientais que se relacionam à produção e distribuição de energia elétrica é indicada pela maior disseminação das formas alternativas e também do armazenamento de energia. Os sistemas de armazenamento de energia possuem diversas formas de gestão da energia, sendo importantes, conforme Farret e Simões (2006), no papel de unificação, distribuição e ampliação da capacidade dos sistemas de geração distribuída. Os sistemas de armazenamento podem favorecer a efetividade na utilização de fontes alternativas de energia, principalmente das energias renováveis como a eólica e a fotovoltaica.

Os sistemas de armazenamento de energia podem ser divididos em seis categorias, que são as baterias de estado sólido; volantes de inércia; ar comprimido; térmico; bombeamento hidráulico e as baterias de fluxo. Existem meios de

armazenamento ainda em fase de experiência, como o que ocorre por meio de locomotivas elétricas e o armazenamento híbrido (SILVA; BORTONI, 2016).

As tecnologias de armazenamento de energia passaram por grandes avanços tecnológicos, possibilitando armazenar cada vez mais energia por meio destas iniciativas e descobertas, de modo cada vez mais eficiente e a um preço cada vez menor, possibilitando que sejam utilizadas em diversos tipos de aplicações. Assim, se torna possível a utilização em nível residencial para fornecimento de serviços e melhoria do fator de potência. A energia armazenada pode ser utilizada também na correção de intermitências na produção de energia (LOPES, 2015).

Destaca-se, no entanto, que independentemente da solução empregada com a finalidade de se minimizarem os danos provenientes das linhas de transmissão de energia elétrica, é imprescindível a observação dos preceitos que se relacionam aos estudos de impacto ambiental. Estes se fazem necessários para que sejam reduzidos os prejuízos relacionados a cada uma das etapas da construção, como na abertura dos acessos, para os quais devem priorizadas as áreas onde os impactos sejam menores ou acessos já existentes (IMA, 2019).

Outro elemento que deve ser observado é a redução dos danos na abertura de áreas de torre e de faixas, compreendendo a importância de que nas áreas nas quais ocorre a preservação dos remanescentes florestais deve ocorrer a recuperação após a conclusão das obras (IMA, 2019).

Ainda que o interesse científico na avaliação do impacto de linhas de transmissão esteja aumentando, a maioria dos estudos tem se concentrado em grupos específicos de vertebrados, especialmente aves. Desse modo, são escassos os estudos publicados sobre a perda de habitat e as respostas de grupos funcionais com menor mobilidade ou sensíveis a alterações físicas, como os anfíbios. A maioria dos impactos aparecem nos estágios iniciais de um projeto, durante a construção da linha de transmissão, mas persistem durante a operação (BIASOTTO; KINDEL, 2018). O crescimento da demanda por energia e o desenvolvimento incipiente da exploração por fontes alternativas exigiu a construção de diversas hidrelétricas, o que implica em significativos impactos ambientais com a construção também das linhas de transmissão.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho buscou identificar os impactos ambientais relacionados à expansão das linhas de transmissão de energia elétrica no Brasil, entre outros aspectos relacionados a matriz energética e à produção de energia nas hidrelétricas. Observou-se que existem quatro atividades que se relacionam ao segmento de energia elétrica, que são a produção, a transmissão, a distribuição e a comercialização. Foram trazidos também aspectos históricos relacionados à produção e distribuição de energia elétrica.

Observou-se que a matriz energética brasileira é diversificada no que diz respeito à utilização de energia tanto renovável quanto não-renovável, mas que se caracteriza pelo predomínio do uso das hidrelétricas. Destacou-se que o desenvolvimento econômico e demográfico trouxe a necessidade de gradativa expansão no que se refere à produção, transmissão e distribuição de energia, tendo sido observadas as características de algumas das formas alternativas de produção de energia. Foram citadas no trabalho as divisões do sistema de distribuição, determinadas pelos segmentos de rede, alta, média e baixa tensão, observando também que a iluminação pública é um dos maiores meios de consumo de energia elétrica no Brasil.

A respeito das linhas de transmissão, que são os sistemas físicos usados para o transporte de um sinal elétrico entre um gerador e uma carga através de um campo eletromagnético, afirmou-se que estas podem ser curtas, médias ou longas e que os serviços de manutenção se referem principalmente ao reparo, instalação, retirada, correção, substituição e montagem de componentes e materiais durante as manutenções preventivas ou corretivas. Diante das significativas extensões percorridas pelas linhas de transmissão, observa-se a importância principalmente a necessidade da manutenção preventiva.

Destacando-se os aspectos que se relacionam à segurança do trabalho nas linhas de transmissão, observou-se que é indispensável a utilização de medidas de segurança, principalmente no que se refere à linha viva. Observou-se que as principais ações a serem empregadas em caráter preventivo incluem a avaliação preliminar de riscos e identificação e avaliação de aspectos e impactos.

A análise a respeito dos impactos ambientais relacionados às linhas de transmissão indicou a necessidade de adoção de ações preventivas, considerando a dimensão desses impactos que vão desde a degradação ambiental, em alguns casos reversível, ao adoecimento e morte de indígenas a partir da contaminação por substâncias utilizadas no controle da vegetação nas faixas de servidão. O descumprimento ou mesmo a fragilidade da legislação ambiental, cuja abrangência não contempla as necessidades inerentes à instalação e manutenção das linhas de transmissão, faz com que seja necessário o desenvolvimento de práticas que possam minimizar os danos causados.

Foram citadas como práticas voltadas à redução dos impactos ambientais oriundos das linhas de transmissão o fomento ao uso de energias produzidas por fontes alternativas, o armazenamento de energia e principalmente a observação dos preceitos legais e os relacionados especificamente aos estudos de impacto ambiental, que volta-se à minimização dos prejuízos relacionados a cada uma das etapas da construção, como a abertura dos acessos, de áreas de torre e de faixas para os quais devem priorizadas as áreas onde os impactos sejam menores ou acessos já existentes.

A expansão da produção de energia elétrica, motivada pelo aumento da demanda, e o conseqüente aumento na quantidade de linhas de transmissão aumenta a possibilidade da ocorrência de danos à integridade e à vida humana, bem como os prejuízos ambientais, como os diversos descritos no presente trabalho, entre eles o adoecimento e morte de animais, retirada da cobertura vegetal, proliferação de vetores de doenças, modificações do microclima da região com a deterioração do solo e modificação dos habitats dos animais, bem como dos hábitos de vida da população, e alterando a paisagem.

Espera-se que o presente trabalho possa contribuir para a compreensão a respeito do tema, de grande importância social e acadêmica. Sugere-se a realização de outras pesquisas voltadas aos aspectos relacionados às linhas de transmissão, envolvendo principalmente sugestões para minimização dos impactos ambientais num cenário de necessária expansão da produção, transmissão e distribuição de energia elétrica.

REFERÊNCIAS

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Perdas de Energia**. 2016. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=801&idPerfil=4>. Acesso em 22 abr. 2021.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **ANEEL conclui regularização das cooperativas de eletrificação rural como permissionárias**. 2020. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao-2/-/asset_publisher/zXQREz8EVIZ6/content/aneel-conclui-regularizacao-das-cooperativas-de-eletrificacao-rural-como-permissionarias/656877. Acesso em 30 abr. 2021.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil). **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3. ed. Brasília: Aneel, 2008. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/documents/656835/14876406/2008_AtlasEnergiaEletricaBrasil3ed/297ceb2e-16b7-514d-5f19-16cef60679fb>. Acesso em 30 jul. 2021.

ARANTES, Cíntia et al. Análise conceitual de linhas de transmissão operando em regime permanente senoidal. **ForSci.: r. cient. IFMG**, Formiga, v. 4, n. 2, e00206, ago./dez. 2016.

ARRUDA, Fábio et al. Caso: segurança ocupacional em linhas de transmissão – 230 KV no Porto de Ponta da Madeira. **Revista de Ciência & Tecnologia**, v. 21, n. 41, p. 47-58, 2017.

AVER, Ana. **A relação Iluminação Pública e Criminalidade**. Revista On Line Especialize. 2013. Disponível em: <https://www.ipog.edu.br/download-arquivo-site.sp?arquivo=ailuminacao-publica>. Acesso em 30 jul. 2021.

BIASOTTO, L. D.; KINDEL, A. Power lines and impacts on biodiversity: A systematic review. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 71, jul. 2018, p. 110-119.

BOFF, Leonardo. **Sustentabilidade: o que é, o que não é**. Petrópolis, RJ: Vozes, 2012.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Energia 2030**. 2007. Disponível em: www.mme.gov.br/mme/menu. Acesso em 30 jul. 2021.

BRASIL. ANEEL. **Perguntas e Respostas sobre a aplicação da Resolução Normativa nº 482/2012**. 2012. Disponível em http://www.aneel.gov.br/documents/656827/15234696/faq+-v3_20170524/ab9ec474-7dfd-c98c-6753-267852784d86. Acesso em 30 jul. 2021.

BRASIL. Portaria nº 421, de 26 de outubro de 2011. **Dispõe sobre o licenciamento e a regularização ambiental federal de sistemas de transmissão de energia elétrica e dá outras providências**. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/MMA/PT0421-261011.PDF>. Acesso em 10 ago. 2021.

CAMARGO, T. J. et al. **A Biomassa como fonte de energia renovável**. 1 ed. Lençóis Paulista, Integrada Revista Científica, 2017

COUTO, H. A. **Comportamento seguro**: 70 lições para o supervisor de primeira linha. Belo Horizonte: Ergo, 2009.

CUNHA, J. C. et al. Sistema setorial de inovação e energia elétrica no Brasil. In: SIMPÓSIO DE GESTÃO DA INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, 25., 2008, Brasília. **Anais...** Brasília, DF: Anpad, 2008.

DINIZ, F. B. **Impacto ambiental da emissões sonoras de subestações de energia elétrica na cidade de Curitiba**. Dissertação (Mestrado). Curitiba: UFPR, 2003.

DOMINGUES, C. A. **Energia Sustentável- Nova Geração de Energia Elétrica**. 2010. 41 p. Monografia (Especialista em Gestão Ambiental). Universidade Candido Mendes, Niterói, Rio de Janeiro, 2010.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Matriz Energética e Elétrica**. 2019. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em 02 ago. 2021..

FARRET, F. A.; SIMÕES, M. G. **Integration of Alternative Sources of Energy**. John Wiley & Sons. University of Michigan, 2006.

GOMES, J. P. P.; VIEIRA, M. M. F. O campo da energia elétrica no Brasil de 1880 a 2002. **RAP**, Rio de Janeiro, v. 43, n. 2, p. 295-321, mar./abr. 2009

GUERRA, A. J. T.; MARÇAL, M. dos S. **Geomorfologia Ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006.

IMA. **RIMA** - Relatório de Impacto Ambiental. Linha de Transmissão de Energia LT 230/525 kV Rio do Sul - Indaial - Gaspar II, subestações e seccionamentos associados. Instituto do Meio Ambiente de Santa Catarina, 2019.

KAGAN, Nelson. **Introdução aos sistemas de distribuição de energia elétrica**. São Paulo: Blucher, 2005.

KOIFMAN, Sergio. Geração e transmissão da energia elétrica: impacto sobre os povos indígenas no Brasil. **Cad. Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 2, p. 413-423, mar. 2001.

LIMA, G. F. **Aula 05 - Apresentação da disciplina Instalações Elétricas de Alta Tensão - Transmissão em Alta Tensão**. Natal: Instituto Federal do Rio Grande do Norte, 2013.

LIMA FILHO, A. S. Manutenção em redes de distribuição de energia elétrica. **Rev. Uniplac**, n. 1, 2015.

LIMMER, Flávia da Costa. O licenciamento ambiental da indústria petrolífera. **Revista Brasileira do Direito do Petróleo, Gás e Energia**, v. 5, n.1, p. 225-242,

2018.

LOPES, L. B. **Uma avaliação da tecnologia LED na iluminação pública**. 2014. p. 1 - 81. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) Escola Politécnica, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10010665.pdf>>. Acesso em 31 jul. 2021.

LOPES, S. A. S. **Tecnologias de armazenamento de energia para Fornecimento de serviços de sistema**. Coimbra: Universidade de Coimbra, 2015.

MACEDO, A. F. R.; MENEZES, L. S. **Um olhar sobre o processo saúde–doença do Docente de universidade pública**. 2015. Disponível em: http://www.canal6.com.br/x_sem2016/artigos/7A-07.pdf. Acesso em 21 jul. 2021.

MELO, Luiz Antonio et al. Segurança nos serviços emergenciais em redes elétricas: os fatores ambientais. **Prod.**, São Paulo, v. 13, n. 2, p. 88-101, 2003.

MORO, P. D. et al. Diagnóstico ambiental de indústrias de fabricação de estruturas metálicas e esquadrias de metal de pequeno e médio porte. **Gest. Prod.**, São Carlos, v. 22, n. 1, p. 229-237, 2015.

PEREIRA, A. L. A. B. **Análise crítica dos impactos ambientais ocasionados pela linha de transmissão 500 kv Miracema – Sapeçu e subestações associadas**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Escola Politécnica. 2014. Disponível em: <http://drhima.poli.ufrj.br/images/documentos/tcc/2014/anne-luise-de-amorim-2014.pdf>. Acesso em 10 ago. 2021.

PINTO, M. O. Energia elétrica: geração, transmissão e sistemas interligados. Rio de Janeiro: LTC, 2018.

PIRES, L. F. A. **Gestão ambiental da implantação de sistemas de transmissão de energia elétrica**. Estudo de caso: Interligação Norte/Sul I. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental). Niterói: UFF, 2005.

RIO GRANDE DO SUL. **Avançam obras de subestações e linhas de transmissão que vão abrir 600 empregos diretos na construção**. 2020. Disponível em: https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Festado.rs.gov.br%2Favancam-obras-de-subestacoes-e-linhas-de-transmissao-que-vaio-abrir-600-empregos-diretos-durante-a-construcao&psig=AOvVaw1_ndWvclOFj6RMANn6GKep&ust=1629214861899000&source=images&cd=vfe&ved=0CAkQjhxqFwoTCNjSoanxtfICFQAAAAAdAAAAABAD. Acesso em 02 ago. 2021.

RODRIGUES E. B. **Território e soberania na globalização: Amazônia, jardim de águas sedentas**. 2010. 403 p. Tese (doutorado). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

RODRIGUES, E. R. C. **Avaliação do impacto ambiental na implantação do sistema isolado e aéreo de distribuição de energia elétrica na reserva da**

Sapiranga em Mata de São João, BA. Monografia (Especialização em Gestão Ambiental em Municípios) Medianeira: UFTPR, 2014.

ROSITO Luciano Haas. **As origens da iluminação Pública no Brasil.** 2009. Disponível em: <http://www.osetoelettrico.com.br>. Acesso em 30 jul. 2021.

SANTOS, L. P.; PEREIRA JUNIOR, R. B; SANTOS, V. C. L. Geração Distribuída: Sistema de cogeração fotovoltaico conectado à rede elétrica de baixa tensão. Belo Horizonte, v. 1. 20 p.2004.

SCHULZ, W. **Iluminação Pública.** Agenda Parlamentar CREA-PR. Parana, p. 1 – 26, dez. 2016. Disponível em: <http://177.92.30.55/ws/wp-content/uploads/2016/12/iluminacao-publica.pdf>. Acesso em 31 jul. 2021.

SENÇO, W. **Técnicas de projetos rodoviários.** 1ª Edição. São Paulo: Pini, 2008.

SILVA, L. L. F. **Iluminação Pública no Brasil:** aspectos energéticos e institucionais. 2006. Dissertação (mestrado em Planejamento Energético). Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <http://www.ppe.ufrj.br/pppe/production/tesis/llfroes.pdf>. Acesso em 31 jul. 2021.

SILVA, Y. F. F. C.; BORTONI, E. C. Sistemas de armazenamento de energia elétrica em redes inteligentes: características, oportunidades e barreiras. **Rev. Bras. Energia**, v. 22, n. 1, 1. sem. 2016.

SOUZA, João J. B. **Implantando práticas seguras no trabalho com eletricidade.** São Paulo, 2010. Disponível em: <http://www.osetoelettrico.com.br/web/joao-jose-barrico-desouza/371-implantando-praticas-segura-no-trabalho-com-eletricidade-html>. Acesso em 22 jul. 2021.

TIMILSINA G. R. KURDGELASHVILI L. NARBEL P.A. **A Review of Solar Energy Markets, Economics and policies.** 2011 disponível em <https://papers.ssrn.com/sol3/Delivery.cfm/5845.pdf?abstractid=1945636&mirid=1>. Acesso em 30 jul. 2021.

TOLMASQUIM, Maurício Tiomno. **Energia Térmica, Gás Natural, Biomassa, Carvão, Nuclear.** Rio De Janeiro, v. 1, n. 1, 2016.

THÉRY, Hervé; MELLO-THÉRY, Neli Aparecida de. O sistema elétrico brasileiro. **Confins**, n. 26, 2016. Disponível em: <https://journals.openedition.org/confins/10797>. Acesso em 24 abr. 2021.

TURMINA, E. et al. Avaliação de impactos ambientais gerados na implantação e operação de subestação de energia elétrica: um estudo de caso em Palhoça, SC. **Rev. Ciênc. Agrovet.**, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, SC, Brasil, v. 17, n. 4, 2018.

VALE. PTP 00773. **Avaliação Preliminar de Riscos e Identificação e Avaliação de Aspectos e Impactos.** Vale S. A.: Rio de Janeiro, 2018.

XAVIER, F. A. S. et al. Manejo da vegetação sob linhas de transmissão de energia elétrica na Serra de Baturité. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 4, p. 351-364, out-dez, 2007.