

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
ENGENHARIA ELÉTRICA

ANA BEATRIZ RODRIGUES ALVES BRANQUINHO BARBOSA

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE LINHAS DE TRANSMISSÃO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CORNÉLIO PROCÓPIO - PARANÁ
2019

ANA BEATRIZ RODRIGUES ALVES BRANQUINHO BARBOSA

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE LINHAS DE TRANSMISSÃO

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel.

Orientadora: Prof^{fa}. Dra. Gabriela Helena Bauab Shiguemoto



Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Cornélio Procópio
Departamento Acadêmico de Elétrica
Curso de Engenharia Elétrica



FOLHA DE APROVAÇÃO

Ana Beatriz Rodrigues Alves Branquinho Barbosa

Avaliação do ciclo de vida de linhas de transmissão

Trabalho de conclusão de curso apresentado às 09:30hs do dia 21/11/2019 como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista no programa de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Avaliadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Avaliadora considerou o trabalho aprovado.

Prof(a). Dr(a). Gabriela Helena Bauab Shiguemoto - Presidente (Orientador)

Prof(a). Esp. Ulisses Pereira Rosa Borges - (Membro)

Prof(a). Dr(a). Joyce Maria Cordeiro Cruz - (Membro)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, à Santa Rita e à Santa Filomena.

Aos meus pais Regina e Henrique que moveram grandes esforços e se moldaram para que eu chegasse até aqui. Meus exemplos de amor, de força, de justiça, de honestidade e perseverança. Ao meu irmão Riquinho que graças ao seu bom humor sempre foi e será a alegria de nossa casa e meu companheiro da vida inteira.

Agradeço aos meus avós, Diva, Cid, Josephina e Henrique por me ensinarem a viver com simplicidade, humildade, dignidade e a seguir o caminho da fé em Jesus Cristo. Agradeço as minhas tias, tios, primos, sejam eles de sangue ou coração, por me incentivarem a crescer e ir atrás de minhas ambições.

Agradeço ao Pedro, meu namorado e amigo, por toda parceria, apoio, incentivos e carinho para a conclusão desta etapa.

Agradeço à minha orientadora Prof^ª. Dra. Gabriela Helena Bauab Shiguemoto, pela confiança na minha capacidade e pela paciência e disposição no período em que tive que deixar nosso projeto de lado para vivenciar o intercâmbio e os estágios que pude realizar durante esta caminhada.

Agradeço as minhas amigas de infância e adolescência em Franca, Laís, Débora, Julia Lima, Ana do Goiás, todo o meu Ralé amado, por todas as vezes que mesmo longe se fizeram tão presente, não deixando a distância mudar o que conquistamos em todos os nossos anos juntas.

Aos meus amigos de Cornélio Procópio por terem se tornado minha família paranaense, pessoas que eu podia contar para tudo. Meus companheiros de sala durante os 5 anos na Engenharia, em especial, Alexia, Vitinho, Jota, Didi, Léo, Nico e João Paulo, Jacque, Naty, Verê, Carol, Carla, família Tradiça, Repolho e Repilek, obrigada por terem feito os anos de faculdade os melhores que eu poderia ter.

Agradeço a Bia, que ao dividir apartamento comigo me mostrou que seria minha grande companheira, meu conforto e consolo quando chegava a nossa casa, que se tornou nosso lar por alguns anos.

Agradeço aos amigos do intercâmbio na França por terem me ajudado a viver a experiência e por não me deixarem retornar ao Brasil todas as vezes que a saudade apertava. Ao meu grande parceiro Jordan por ter me ensinado que nossas diferenças nos completavam e que poderíamos nos tornar grandes amigos.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização da minha formação como Engenheira Eletricista.

O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo.

José de Alencar

RESUMO

BARBOSA, Ana Beatriz. **Avaliação do Ciclo de Vida de Linhas de Transmissão.** 2019. 58 f. Trabalho de Conclusão de Curso Graduação – Engenharia Elétrica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2019.

Este trabalho tem como objetivo principal apresentar a Avaliação do Ciclo de Vida aplicada em Linhas de Transmissão. A Avaliação do Ciclo de Vida é um princípio pertencente à gestão ambiental, a qual é usada para analisar os possíveis impactos ambientais decorrentes, a partir da extração de um produto, ou atividade, até a disposição final (desmanche) dele. O objetivo desta metodologia é o de diminuir e mitigar o máximo possível os danos causados ao meio ambiente, tanto na fabricação do produto, quanto em relação ao funcionamento dele. No caso de linhas de transmissão, o produto é o transporte de energia elétrica. Assim, a análise consta desde a construção, operação e desativação das linhas de transmissão. Neste trabalho serão apresentados como resultado os principais impactos ambientais causados devido a este tipo de atividade, assim como as possíveis ações mitigadoras para o processo.

Palavras-chave: Avaliação do Ciclo de Vida. Impactos Ambientais. Licenciamento Ambiental. Linhas de Transmissão. Mitigação.

ABSTRACT

BARBOSA, Ana Beatriz. **Life Cycle Assessment of Transmission Lines**. 2019. 58f. Completion of Course Work – Electrical Engineering Graduate. Technological University Federal of the Paraná. Cornélio Procópio, 2019.

This work has as main objective to present the Life Cycle Assessment applied in Transmission Lines. Life Cycle Assessment is a principle pertaining to environmental management, which is used to analyze the possible environmental impacts from the extraction of a product, or activity, to the final disposal (dismantling) of the product. The objective of this methodology is to reduce as much as possible the damages caused to the environment, both in the manufacture of the product and in relation to its operation. In the case of transmission lines, the product is the transportation of electric energy. Thus, the analysis consists of the construction, operation and deactivation of the transmission lines. This paper will present the main environmental impacts caused due to this type of activity, as well as the possible mitigating actions for the process.

Keywords: Life Cycle Assessment. Environmental Impacts. Environmental Licensing. Transmission Lines, Mitigation.

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
AIA	Avaliação dos Impactos Ambientais
AICV	Avaliação dos Impactos do Ciclo de Vida
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
EIA	Estudo dos Impactos Ambientais
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
LP	Licença Prévia
LI	Licença de Instalação
LO	Licença de Operação
LT	Linha de Transmissão
ONG	Organização não governamental
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
ONU	Organização das Nações Unidas
RCA	Relatório de Controle Ambiental
REPA	<i>Resource and Environmental Profile Analysis</i>
RIMA	Relatório de Impactos ao Meio Ambiente
SETAC	Sociedade de Toxicologia e Química Ambiental – <i>Society of Environmental Toxicology and Chemistry</i>
SIN	Sistema Interligado Nacional
UNEP	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente – <i>United Nations Environment Programme</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Delimitação do tema	3
1.2. Identificação do problema e premissas	3
1.3. Objetivos	4
1.3.1. Objetivo Geral.....	4
1.3.2. Objetivos Específicos.....	4
1.4. Estrutura do trabalho	4
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	5
2.1. Conceito e características do licenciamento ambiental.....	5
2.2. Avaliação de Impactos Ambientais (AIA)	8
2.2.1. Estudo de Impactos Ambientais (EIA)	9
2.2.2. Relatório de Impacto Ambiental (RIMA).....	10
3. AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA	12
3.1. Motivação	12
3.2. Conceito	13
3.3. Histórico	15
3.4. Metodologia.....	17
3.4.1. Definição dos Objetivos e Escopo	18
3.4.2. Análise do Inventário de Ciclo de Vida	19
3.4.3. Avaliação dos Impactos do Ciclo de Vida - AICV	21
3.4.4. Interpretação dos Resultados/Ciclo de Vida	23
3.5. Aplicações	24
4. APLICAÇÃO DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DO SISTEMA DE TRANSMISSÃO BRASILEIRO	24
4.1. Definição dos objetivos e escopo do estudo de linhas de transmissão.....	27
4.2. Descrição do inventário de ciclo de vida das linhas	31
4.3. Descrição dos possíveis Impactos Ambientais do Ciclo de Vida de linhas de transmissão	39
4.4. Interpretação dos resultados do estudo.....	41
5. CONCLUSÃO	44
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

1. INTRODUÇÃO

Com o passar do tempo, as civilizações que levavam um estilo de vida nômade deixaram de pertencer a esses grupos para se fixarem em determinado meio. A partir de então, houve o desenvolvimento da agricultura e com o excesso advindo dela, ocorreu a expansão de cidades e civilizações. A partir desta expansão surgiram os impactos ambientais notórios, pois quanto maior o crescimento, maior a demanda de produtos (PONTING, 1995).

Assim, a partir deste momento, a energia que era disponibilizada pela força muscular apenas, é complementada por outros tipos de conversores advindos da agricultura e da pecuária. O uso de animais para tração, transporte, a necessidade de armazenamento de alimentos e também produção destes, aumentam a potência disponível ao homem. Com esta evolução há o surgimento de algumas atividades como olaria, marcenaria, serralheria, artesanato e outros.

Ao analisar a relação do homem com a natureza durante toda a trajetória da humanidade, é de notória percepção a grande modificação que se deu tal relacionamento no decorrer do tempo.

Com o surgimento da energia elétrica foi concebível a elaboração de parques industriais e assim, o aperfeiçoamento de cidades populosas. Grande parte dos países seguiu as técnicas de desenvolvimento europeia e americana, evidenciando-se o crescimento econômico, sem considerar os impactos ambientais e a carência de recursos. Todavia, a matriz energética no mundo é basicamente munida de combustíveis fósseis, e estes, são bens não renováveis (FERREIRA, 2011).

Foi no início da década de 60 que alguns movimentos e artigos sobre impactos ambientais começaram a surgir. A principal impulsionadora deste acontecimento foi a percepção de que os recursos naturais não durariam para sempre, e que atos contra a preservação ambiental poderiam tornar-se irreversíveis. Desse modo, a Organização das Nações Unidas (ONU), em 1972, efetivou a Conferência sobre Meio Ambiente sediada em Estocolmo. Na mesma época, foi revelado o estudo “Limite de Crescimento”, cujo intuito era de apresentar os níveis de industrialização da época, além da exploração de recursos naturais, poluição sobre o meio ambiente e fabricação de alimentos, ilustrando desse modo, que em

100 anos se atingiria o limite máximo de crescimento e a partir de então, haveria uma diminuição tanto populacional quanto industrial de maneira repentina (FERREIRA, 2011).

Em 1987, segundo a WWF BRASIL (2017), foi apresentado um relatório intitulado “Nosso Futuro Comum” pela Comissão Mundial da Organização das Nações Unidas (ONU), onde era evidenciada a expressão desenvolvimento sustentável, que foi compreendido como um desenvolvimento capaz de suprir as necessidades da geração atual, sem afetar a capacidade de satisfazer as necessidades das gerações futuras. Essa definição surgiu para debater e sugerir meios de associar o desenvolvimento econômico com a conservação ambiental.

Além disso, em 1992, foi realizada a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD) no Rio de Janeiro – RIO-92, que tinha por objetivo a proteção do planeta, fazendo com que os países reconhecessem a formulação de desenvolvimento sustentável e buscassem ações para moldar tal objetivo. Foi neste momento que houve o reconhecimento de todos os países envolvidos, de que há a necessidade de se conciliar o desenvolvimento socioeconômico com os possíveis impactos que ele possa gerar na natureza (SENADO FEDERAL, 2017).

Surgiu, então, no Brasil, a importante necessidade de se ter uma legislação em relação aos impactos ambientais gerados pelo desenvolvimento socioeconômico e tecnológico. A legislação brasileira não é avançada nesta área quando comparada a países europeus e aos Estados Unidos, porém algumas normas internacionais acabam sendo aplicadas devido as atividades de exportação e importação entre tais regiões (FERREIRA, 2011).

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) ganha espaço nesta abordagem por ser uma técnica de análise mais intensa referente a impactos sobre o meio ambiente. Em contrapartida, não é um método que leva em consideração a avaliação de custos. O foco principal está no processo, toda a história de um produto, desde a coleta de matéria-prima para sua produção até a sua disposição. Pela ACV não ser completa, ela deve trabalhar em conjunto com o EIA e o RIMA (ABNT, 2001).

Este trabalho apresentará um estudo e análises sobre os possíveis impactos ambientais gerados pelo transporte de energia através das linhas de transmissão e

possíveis métodos de diminuição destes, levando em consideração todo o seu processo. O desenvolvimento da pesquisa será dado pelo princípio da avaliação do ciclo de vida. Serão abordados os tipos de licenciamentos ambientais vigentes no Brasil, as normas técnicas para execução e funcionamento do produto, as características das linhas de transmissão e da ACV.

1.1. Delimitação do tema

A importância da proteção sobre o meio ambiente tem tido uma crescente conscientização assim como os possíveis impactos ambientais associados aos sistemas de produção e produtos manufaturados em si (ABNT, 2001).

Havendo então a necessidade do desenvolvimento de procedimentos para um melhor entendimento e diminuição de impactos gerados pelo crescente interesse na área. Um dos métodos em progresso com este propósito é a Avaliação do Ciclo de Vida – ACV (ABNT, 2001).

Este trabalho abordará uma proposta diferente de estudo de impactos ambientais, sendo esta a de associar a ACV com o sistema de transporte de energia através das linhas de transmissão, buscando diminuir as possíveis consequências causadas no meio ambiente em decorrência deste serviço, pois desta forma é possível evitar repercussões presentes e futuras desses efeitos.

1.2. Identificação do problema e premissas

O problema consiste em analisar se há a possibilidade de reduzir ou evitar os impactos ambientais causados pelas linhas de transmissão através do princípio da avaliação do ciclo de vida.

Logo, é interessante utilizar o estudo da ACV em possíveis impactos ambientais. Para isto o Inventário do Ciclo de Vida será utilizado como método de análise, pois, segundo Ribeiro (2003), nele é possível identificar todas as interações do ciclo de vida de um produto com o meio ambiente.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo Geral

Analisar e estudar a avaliação do ciclo de vida voltando tal aplicação às linhas de transmissão, para ser possível achar sugestões para diminuição dos impactos ambientais causados pelo processo de transmissão de energia elétrica.

1.3.2. Objetivos Específicos

Este trabalho possui como objetivos específicos:

- Estudar a avaliação do ciclo de vida.
- Estudar o licenciamento ambiental vigente no Brasil.
- Estudar a avaliação do ciclo de vida em linhas de transmissão.
- Delimitar os objetivos e escopo no estudo de LT's
- Analisar os possíveis impactos ambientais associados às linhas de transmissão.
- Interpretar os resultados de tal modo a auxiliar agentes responsáveis e interessados em empreendimentos de transmissão de eletricidade a diminuir potenciais impactos ambientais durante o processo entorno delas.

1.4. Estrutura do trabalho

Este trabalho está dividido em: Capítulo 2 que apresentará os conceitos teóricos sobre o histórico ambiental na vida humana, estudos de impacto ambiental e legislação ambiental brasileira; o Capítulo 3 apresentará a definição e caracterização sobre a avaliação do ciclo de vida e sua metodologia para execução deste trabalho; o Capítulo 4 apresentará a implementação da metodologia em linhas de transmissão; o Capítulo 5 descreverá as considerações finais sobre a análise envolvendo à ACV.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo será apresentada a estrutura básica do licenciamento ambiental no Brasil, a metodologia da Avaliação de Impactos Ambientais (AIA), as documentações, atualmente necessárias, referentes ao estudo de impactos ambientais (EIA) e o relatório de impacto ambiental (RIMA) para construções de grande porte. Além disso, serão vistas algumas normas técnicas referentes às grandes obras e às linhas de transmissão. Por meio desses conceitos será possível fazer uma diferenciação entre os métodos tradicionais de análise dos impactos ambientais e a ACV que será vista no próximo capítulo.

2.1. Conceito e características do licenciamento ambiental

De acordo com a resolução CONAMA (1987, p.17.499) – Conselho Nacional do Meio Ambiente - publicada no Diário Oficial da União, em 22/10/87, Seção I, no uso de suas atribuições legais:

“Considera-se a necessidade de que sejam editadas regras gerais para o licenciamento ambiental de obras de grande porte, especialmente aquelas nas quais a União tenha interesse relevante como a geração de energia elétrica, no intuito de harmonizar conceitos e linguagem entre os diversos intervenientes no processo”.

A resolução CONAMA nº237 publicada em 19 de dezembro de 1997 define em seu Art 1º, o licenciamento ambiental como um documento em que o órgão responsável autoriza a instalação, extensão e funcionamento de empreendimentos e atividades usuais de recursos ambientais, as quais são consideradas satisfatórias ou potencialmente poluidoras, ou ainda, eventualmente capazes de gerarem degradação ambiental, respeitando as normas técnicas e os ordenamentos legais e regulamentares cabíveis ao caso. É dever do licenciamento ambiental administrar e estabelecer, através dos órgãos competentes, retenções, disposições e medidas para controle do meio ambiente fazendo com que as empresas, indústrias e pessoas sigam tais determinações para efetivação do projeto.

Ou seja, através do licenciamento ambiental, a Administração Pública estabelece as condições e os limites em que as atividades econômicas estarão submetidas para o seu desenvolvimento.

As linhas de transmissão, como citado no anexo 1 da resolução CONAMA nº 237 (1997), estão sujeitas às condições de licenciamento ambiental. E, por meio do § 2 do Art 2º, cabe ao órgão ambiental competente estipular as condições de exigibilidade, a descrição e a complementação do Anexo, considerando as peculiaridades, ameaças ambientais e o porte da atividade e projeto, além de outras características.

Ainda, segundo Art 4º da Resolução citada é de competência do IBAMA o licenciamento ambiental, como descrito na lei nº 6.938 em seu artigo 10º outorgada em 31 de agosto de 1981, de projetos e atividades produtoras de impactos ambientais significativos em esfera nacional ou regional, a considerar:

“Regiões localizadas ou desenvolvidas conjuntamente no Brasil e em país limítrofe; no mar territorial; na plataforma continental; na zona econômica exclusiva; em terras indígenas ou em unidades de conservação do domínio da união.” (CONAMA, 1997)

Consideram-se também empreendimentos localizados ou concebidos em dois ou mais estados, e ainda, cujos impactos ambientais influem de maneira direta no meio natural ultrapassando os limites territoriais do Brasil de um ou mais de um Estado.

Percebem-se por essas definições legais que as linhas de transmissão são obras pertinentes de estudos ambientais e cabíveis de licenciamento ambiental para concretização de suas obras. Ressalta-se que dentro do licenciamento ambiental existem três etapas (licenças) a serem seguidas e adquiridas para o total funcionamento do empreendimento.

Na fase inicial é solicitada e concedida a licença prévia (LP) ao empreendimento caso ele seja harmonizável com a preservação do meio natural que irá afetar. Se não for compatível a esta preservação, deve ser passado por estudos ambientais (EIA/RIMA) para assim ser concedida a LP. Se, eventualmente, não for necessária a realização dos estudos, é redigido um Relatório de Controle Ambiental (RCA), ao qual possui descrições sobre as características do projeto. (FERREIRA, 2011)

É na fase da LP que são analisados os prováveis impactos ambientais, apontando a intensidade e abrangência deles, desenvolvendo, assim, medidas mitigadoras para amenização de tais. Contudo, é avaliado discutindo-se com órgãos

ambientais competentes e grupos afetados, se o projeto deve ser concebido ou não, conforme relevância das repercussões ambientais. Além disso, avalia-se a área de concepção da obra, baseando-se no Zoneamento Municipal, para averiguar se é tecnicamente viável. (IBAMA, 2017)

A licença de instalação (LI) é solicitada após concessão da LP e é através dela que serão apuradas as características da obra. A LI permite a abertura da construção do empreendimento caso ele atenda à harmonização do meio natural atingido. Caso contrário, serão reivindicados métodos de ressarcimento ao meio, ou seja, um plano básico ambiental (PBA). A fiscalização é de responsabilidade do órgão competente que realizará visitas ao local. Para eventuais ampliações, a LI deve ser solicitada antes da atuação do procedimento. (IBAMA, 2017)

O IBAMA (2017) ainda ressalta que depois de efetuadas as construções referentes ao empreendimento, este passará por fiscalização para averiguação ao atendimento das restrições da LP e da LI.

Após estas etapas é que se pode solicitar a licença de operação (LO), cujo propósito é de autorizar o funcionamento do empreendimento. Esta só é concedida caso a LP e a LI atendam as conformidades. Além disso, o empreendedor deve conceber medidas de controle ambiental, que possuam o intuito de amenizar as perturbações causadas ao meio ambiente. (FERREIRA, 2011)

Todas as licenças possuem um prazo de validade máximo, como por exemplo, a LP possui um prazo máximo não superior a 5 anos. Já a LI, não ultrapassa o máximo de 6 anos. Por fim, a LO possui um intervalo mínimo de 4 anos até um máximo de 10 anos. (SEBRAE-RJ, 2004)

O Estudo de Impacto Ambiental - EIA juntamente do Relatório de Impacto ao Meio Ambiente - RIMA é necessário, segundo resolução CONAMA, em obras de grande porte para a obtenção das licenças ambientais do empreendimento.

Estes são estudos exigidos por órgãos ambientais para liberação de licenciamentos ambientais de projetos, porém eles focam no processo de produção, ou seja, é realizada uma exploração referente aos danos propiciados no decurso da produção. Isto significa que a análise do empreendimento é feita durante a fabricação do produto ou no decurso do fornecimento de determinado serviço. Logo, os impactos ambientais são avaliados durante a confecção de um produto. Desta

forma, não é uma análise completa, porque não se leva em consideração os recursos utilizados para formação do produto final como, por exemplo, mananciais energéticos, mão de obra, matéria-prima entre outros. Também não se considera a disposição de detritos gerados no processo de produção. Portanto, faz-se necessário que uma análise seja feita tendo como foco o produto e o sistema de produção, do início ao fim (FERREIRA, 2011).

2.2. Avaliação de Impactos Ambientais (AIA)

A resolução CONAMA N°001 de 23 de Janeiro de 1986 (1986, p. 2.548) no Art. 1º define impacto ambiental como:

“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; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; e também a qualidade dos recursos ambientais”.

A obrigatoriedade da confecção de um estudo de Avaliação do Impacto Ambiental (AIA) é imposta para determinadas atividades que são descritas na Resolução Conama n°001/86 (1986, p.2.548) pelos órgãos competentes responsáveis pelo propósito, seja eles municipais, estaduais ou o IBAMA, e esta avaliação é feita na forma do EIA e do RIMA.

A Avaliação de Impacto Ambiental – AIA é um conjunto de procedimentos utilizados para a análise sistemática das mudanças provocadas no meio ambiente, sejam essas, econômicas, biológicas ou sociais, causadas por uma determinada atividade ou empreendimento. Apresenta de forma adequada os resultados aos órgãos responsáveis por tomadas de decisões e ao público para garantir a adoção de medidas de proteção ambiental, se este empreendimento vier a ser implantado. Ou seja, pode ser classificado como um instrumento para tomada de decisões e processo de planejamento em âmbitos governamentais ou de iniciativa privada. Também é um dos instrumentos dos princípios da prevenção e precaução (citadas na Declaração n° 15 e 17 da Rio-92) (VIANA, 2008).

A AIA encontrou maior aplicação no âmbito dos estudos ambientais devido ao licenciamento ambiental. Entre eles, destaca-se o EIA - Estudo de Impacto

Ambiental, exigido em caráter prévio para o licenciamento de empreendimentos e atividades causadoras de certa degradação ambiental. O EIA tende a estar associado ao respectivo Relatório de Impacto Ambiental – RIMA, que nada mais é do que um texto condensado, em linguagem acessível ao público em geral, que deve abranger seus pontos principais e conclusões (VIANA, 2008).

2.2.1. Estudo de Impactos Ambientais (EIA)

A determinação de realização de um estudo de impacto ambiental – EIA, constituiu uma grande ascensão na legislação brasileira em correspondência ao meio ambiente. É a partir do EIA que a impassibilidade do poder público deixa de se perder e de se comprometer, uma vez que antes deixava que fossem arquitetadas obras sem o devido estudo de seus impactos locais e regionais, eminentemente comprometedores ao meio ambiente. Atualmente, a constituição federal antevê no seu art. 225, sobretudo no § 1º, inc. IV, para a execução do direito ao meio ambiente sustentável, o estudo antecipado do impacto ambiental, a ser solicitado antes da efetuação da entidade, quando a atividade eventualmente causadora for de considerável degradação ambiental (ÂMBITO JURÍDICO, 2017).

O Estudo de Impactos Ambientais - EIA é definido como um estudo composto por dados feitos por especialistas de várias áreas com detalhamento. O acesso a este estudo é privado, ou seja, não é de conhecimento público, por motivos de sigilo industrial, e ainda, por ser um documento com termos técnicos e de difícil compreensão. No artigo 6º da Resolução CONAMA nº001/86 (1986, p. 2.548) encontra-se a definição das atividades técnicas cabíveis ao EIA. (MATA NATIVA, 2017)

Segundo o Art. 6º (CONAMA, 1986, p. 2.548), uma das atividades técnicas cabíveis ao EIA está relacionada ao reconhecimento ambiental do local de atuação do projeto, fazendo-se uma descrição completa e ainda analisando-se os fundos ambientais e suas relações, bem como existem, de maneira a descrever a situação ambiental do local, antecedendo a inserção do projeto, levando em consideração o meio físico, o meio biológico e os ecossistemas naturais, e o meio socioeconômico.

Também é de competência do EIA analisar os impactos ambientais da obra e de suas alternâncias, por meio de reconhecimento, prognóstico da magnitude e

perspectiva da relevância dos possíveis impactos, distinguindo: os impactos benéficos e adversos, ou seja, positivos e negativos, que atuarão de maneira direta ou indireta. Também deve ser distinguidos se atuarão de forma imediata ou a médio e longo prazo, se serão transitórios ou definitivos, se existirá e qual será a probabilidade de reversão, se suas peculiaridades serão cumulativas e sinérgicas e qual será a distribuição dos encargos e das vantagens sociais. (CONAMA, 1986).

O EIA deve definir as medidas de redução dos impactos maléficos, englobando os dispositivos de controle e processos de tratamento dos detritos, julgando a competência de uma por uma.

2.2.2. Relatório de Impacto Ambiental (RIMA)

Como reflexão das conclusões das análises feitas pelo EIA se tem o RIMA – Relatório de Impacto Ambiental – que nada mais é que um documento exposto de forma clara e objetiva para uma compreensão mais pertinente. Nele, as informações são apresentadas numa linguagem simples, retratando técnicas de comunicação visual como cartas, quadros, mapas, gráficos e demais procedimentos, de maneira a expor as vantagens e desvantagens da efetivação do projeto de jeito entendível. Ademais, nele são evidenciados também, as decorrências ambientais dessa efetivação. Logo, é de primordial importância que o relatório contenha as finalidades e pretextos do projeto, sua associação e analogia com as políticas setoriais, propostas e programas governamentais. (MATA NATIVA, 2017)

Para mais, deve ser feito também um esclarecimento do projeto e suas opções tanto tecnológicas quanto locais, explicitando para cada um deles, nas fases de edificação e funcionamento, a região de atuação, as matérias primas, o contingente de trabalhadores, os mananciais energéticos, os sistemas e métodos operacionais, os possíveis resíduos, emissões, efluentes energéticos, os efeitos diretos e indiretos a serem produzidos. E ainda, um resumo das decorrências dos estudos de investigação ambiental da região de intervenção do projeto. (CONAMA, 1986, p. 2.548)

Serão apresentados os possíveis impactos ambientais causados pelo projeto, estimativas de tempo de incidência destes, destacando técnicas, modos e critérios utilizados para reconhecimento, quantificação e compreensão da proposta.

Também serão explicitadas as características referentes à futura qualidade ambiental da região atuada, contrastando as situações divergentes da admissão do projeto e suas opções, tal qual a hipótese da não produção da obra (CONAMA, 1986, p. 2.548).

Medidas mitigadoras são apresentadas, bem como os efeitos esperados advindos delas sobre os impactos negativos, reportando os que não foram capazes de serem evitados, e o estado de deformação esperado. Os que não puderem ser evitados devem ser supervisionados e acompanhados e este acompanhamento deve ser descrito no RIMA. As conclusões e ponderações de ordem geral são apresentadas juntamente a determinadas recomendações em relação a opções mais favoráveis.

Desse modo, percebe-se que, através das atuais licenças ambientais obrigatórias, é possível identificar diferentes tipos de impactos causados por empreendimentos e determinadas atividades, sejam elas públicas ou privadas. Ressalta-se que os estragos que são quantificados não compreendem apenas àqueles ao ecossistema, mas também os danos sociais e econômicos. Devido a isso, a necessidade de áreas multidisciplinares para realização da AIA.

Porém, vale lembrar que a legislação brasileira ainda é nova e que os métodos da AIA precisam de aperfeiçoamento. O desenvolvimento que pode ser realizado envolveria maior observância na fase de planejamento e não apenas na fase de projeto e implantação de atividades. As licenças ambientais possuem o foco no sistema de produção, isto é, nos danos causados devido à manufatura ou prestação de serviço, como a transmissão de energia elétrica. No caso de uma linha de transmissão são exigidos LP, LI e LO, mas o empreendedor não é eximido de que o órgão regulador faça exigências de outras licenças específicas. Como por exemplo, preceitos expostos nos Procedimentos de Rede da ONS onde são expostos os Requisitos Mínimos para instalações de Transmissão, ou ainda, a NBR 5422 NB 182 que fala sobre Projetos de Linhas Aéreas de Transmissão de Energia Elétrica.

3. AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

3.1. Motivação

Em decorrência das alterações climáticas e da poluição, a sociedade como um todo, tem se tornado mais conhecedora das questões ambientais. Diante disso, os governos, em geral, têm elaborado gradativamente leis ambientais mais rígidas, com o intuito de controlar maiores estragos aos ecossistemas. O crescimento do conceito de sustentabilidade e o fácil acesso à informação têm coagido a sociedade a se preocupar com a preservação do meio ambiente. As empresas acabam se sentindo pressionadas pelo mercado para melhorar seus produtos, tanto no quesito tecnológico quanto no ambiental.

Consequentemente, estão sendo desenvolvidas variadas metodologias para ajuizar os impactos causados ao meio ambiente. Como visto, anteriormente, no Capítulo 2, a legislação brasileira tem exigido certos documentos como o EIA e o RIMA para analisar isso, tendo como objetivo principal mitigar ou prevenir significativos impactos ambientais causados por obras e serviços.

Em contrapartida, esses documentos possuem ênfase no processo de produção. Isso quer dizer que é feita análise dos estragos gerados durante a atividade de produção, isto é, apenas os danos causados pelo empreendimento durante a fabricação do produto ou na prestação de determinado serviço. Somente os males causados pelo produto são mensurados para efeitos de avaliação dos impactos ambientais.

Entretanto, esta análise não é completa e isso pode ser visto ao realizar uma breve reflexão. Com a era da tecnologia, *smartphones* e *tablets* armazenam cada vez mais informações em pouco espaço e se poderia dizer que estes equipamentos são menos danosos ao meio ambiente, pois assim, não seria necessário o desmatamento de árvores para fabricação de livros, jornais e revistas. Porém, existem quesitos que não estão sendo levados em consideração neste raciocínio. Para se produzir *tablets* e *smartphones* são utilizados produtos como água, petróleo e eletricidade. Assim, por exemplo, quanto maior a produção desses eletrônicos maior o consumo de energia, sendo necessária, em consequência, aumentar as fontes de geração. Outro problema envolve a deposição desses aparelhos, o uso

final dos resíduos sólidos gerados não foi levado em consideração, fazendo com que esta comparação se torne ineficaz para o mundo atual.

A partir deste exemplo, nota-se que ao avaliar os problemas gerados apenas com enfoque no processo de produção não quantificará todos os impactos causados pelo produto no meio ambiente e na sociedade. Pode ser que a fabricação polua menos, porém o produto cause maiores danos ao ecossistema. Portanto, faz-se necessária uma análise tendo como foco o produto.

3.2. Conceito

A ACV tem por finalidade o estudo dos aspectos ambientais e dos potenciais impactos que podem ser gerados no decorrer da vida de um determinado produto, desde a obtenção da matéria-prima, transitando pela produção, utilização, transporte e disposição. As classes, como um todo, de impactos ambientais que precisam ser levadas em consideração, incluem, a utilização de materiais disponíveis, a saúde do ser humano e os resultados ecológicos. (FERREIRA, 2011)

Nos métodos tradicionais de avaliação dos impactos ao meio ambiente essas etapas do decorrer da vida do produto são desconsideradas, pois a essência está no processo de produção, isto é, no bem ou serviço. Entende-se por processo de produção um conjunto de ações que estão inter-relacionadas de maneira dinâmica, orientadas para transformação de determinados elementos. Assim, os elementos de entrada, conhecidos como fatores, passam a serem elementos de saída, ou seja, produtos e, por consequência do processo, lhes são incrementados um valor. (CONCEITO.DE, 2011).

Não é sempre que a ACV é um método apropriado para ser utilizado em determinadas atividades, já que costumeiramente ela não leva em consideração os aspectos sociais e econômicos do produto (ABNT, 2001). Ela é uma excelente ferramenta, mas deve ser aliada aos outros métodos, os quais ajudam a diminuir os danos ao meio ambiente e são considerados adequados.

A norma NBR ISO 14040 assume que ainda há considerável trabalho a ser realizado e uma bagagem prática a ser adquirida referente ao nível da prática de ACV, para haver um desenvolvimento adicional. Portanto, faz-se necessário que os

resultados da ACV sejam compreendidos e executados apropriadamente (ABNT, 2001).

Também na NBR ISO 14040 é declarado que a ACV é um método de avaliação dos aspectos e impactos ambientais associados a um produto mediante:

- formulação de um inventário de entradas e saídas plausíveis de um sistema de produto;
- análise dos potenciais impactos ambientais ligados a essas entradas e saídas;
- interpretação dos resultados das etapas de análise de inventário e de avaliação de impactos relacionados aos objetivos dos estudos.

Todas as técnicas de gestão ambiental possuem certa limitação, assim é preciso compreender algumas que estão presentes na ACV (NBR ISO 14040, 2001):

- a natureza das escolhas e suposições feitas na Avaliação do Ciclo de Vida pode ser subjetiva (por exemplo, ao estabelecer as fronteiras do sistema, selecionar as fontes de dados e categorias de impacto);
- os modelos utilizados para análise de inventário ou para avaliação dos impactos ambientais são restritos pelas suas presunções e podem não estar disponíveis para todos os potenciais impactos ou aplicações;
- as soluções dos estudos de ACV com realce em questões globais ou regionais podem não ser adequadas para aplicações locais;
- a precisão dos estudos de ACV pode ser restringida pela disponibilidade de dados oportunos, ou pela qualidade deles, por exemplo, tipos de dados, erros, conjunto, média, especificidades locais;
- a ausência de dimensões temporais e espaciais dos dados do inventário utilizados para analisar o impacto inclui incerteza nos resultados dos impactos. As características espaciais e temporais de cada categoria de impacto fazem com que esta incerteza varie.

3.3. Histórico

A conscientização sobre os problemas causados ao meio ambiente começou a tomar maior proporção global a partir do final da década de 1960. Em abril de 1968, foi fundado o Clube de Roma, hoje uma organização não governamental (ONG), como resultado à percepção da crescente dependência dos países na demanda dos recursos naturais e ao seu uso indiscriminado. Desta maneira, o grande objetivo do Clube seria de identificar os maiores ofensores que determinariam o futuro da humanidade e sensibilizar os líderes mundiais da época nas suas tomadas de decisões, considerando que o grupo era formado por 30 profissionais, dentre eles, empresários, diplomatas, humanistas, professores, altos funcionários governamentais, cientistas e economistas. (PORTAL EDUCAÇÃO, 2019).

Já em 1972, o Clube de Roma efetuou o lançamento do estudo “Limite do Crescimento”, no qual são previstos cenários em que o planeta pode alcançar o colapso, em consequência do desequilíbrio entre a disponibilidade de recursos naturais e o consumo destes, ou acabará se estabilizando. A partir deste contexto nasce a Avaliação do Ciclo de Vida – ACV. (IBICT, 2019).

Em 1965, nos Estados Unidos, a *Coca-Cola Company* realizou o primeiro estudo que pode ser associado à metodologia da ACV. A empresa tinha o objetivo de verificar qual embalagem demandaria menores recursos naturais e emitiria menos poluentes e rejeitos. Nesse estudo, conhecido como *Resource and Environmental Profile Analysis (REPA)*, foi feito um inventário dos combustíveis e matérias-primas usados e dos danos ambientais do processo de produção de cada embalagem. Este modelo impulsionou o que viria se tornar a ACV. (IBICT, 2019).

Em 1989, a Sociedade de Toxicologia e Química Ambiental – *Society of Environmental Toxicology and Chemistry – SETAC* realizou o primeiro evento científico com o propósito de organizar as diferentes frentes de pesquisa orientada ao desenvolvimento da ACV. Tanto nos Estados Unidos quanto na Europa foram nascendo encontros anuais para prosperidade de uma metodologia padrão relacionada ao tema. (IBICT, 2019).

Na década de 1990, a ACV teve uma grande evolução devida à fundação de instituições empenhadas em sua metodologia, ao lançamento de guias e livros

destinados à sua prática, ao surgimento de jornais científicos dirigidos para o tema, até que se chegasse à normalização. (BENOIST, 2009).

Em 1997 acontece o lançamento da ISO 14040 – Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida: Princípios e Estrutura pela Organização Internacional para Padronização (*ISO – International Organization for Standardization*). No Brasil ela só foi traduzida e publicada em 2001. Algumas outras normas ISO foram surgindo correlacionadas a requisitos e orientações para ênfase na ACV como:

- *ISO 14040:1997* – Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida: Princípios e Estrutura (1997).
- *ABNT NBR ISO 14041:2004* – cancelada e substituída pela ABNT NBR ISO 14040:2009 – Versão Corrigida: 2014 e ABNT NBR ISO 14044:2009 Versão Corrigida:2014.
- *ABNT NBR ISO 14042:2004* – cancelada e substituída pela ABNT NBR ISO 14040:2009 – Versão Corrigida: 2014 e ABNT NBR ISO 14044:2009 Versão Corrigida:2014.
- *ABNT NBR ISO 14043:2005* – cancelada e substituída pela ABNT NBR ISO 14040:2009 – Versão Corrigida: 2014 e ABNT NBR ISO 14044:2009 Versão Corrigida:2014.
- *ABNT NBR ISO 14040:2009* Versão Corrigida: 2014 - Identifica a ISO 14040:2006 – Princípios gerais (2006). – Última versão.
- *ABNT NBR ISO 14044:2009* Versão Corrigida: 2014 - Identifica a ISO 14044:2006 – Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida - Requerimentos e orientações (2006).

Em 2002, o UNEP – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (*United Nations Environment Programme*), juntamente da SETAC, lançaram a Iniciativa para o Ciclo de Vida ou *Life Cycle Initiative – LCI*, para promover a prática da abordagem do Ciclo de Vida pelos países como um todo. O foco é o incentivo ao uso da ACV, realizando *workshops*, excitando a utilização de selos ambientais, promovendo treinamentos, aprimorando técnicas, além de buscar ampliar, aperfeiçoar e atualizar banco de dados para os inventários de ciclo de vida. (FERREIRA, 2011).

Pode-se dizer que atualmente o Pensamento do Ciclo de Vida está razoavelmente disseminado no mundo, mesmo que ainda não seja uma obrigatoriedade à fabricação e comercialização de produtos. (IBICT, 2019).

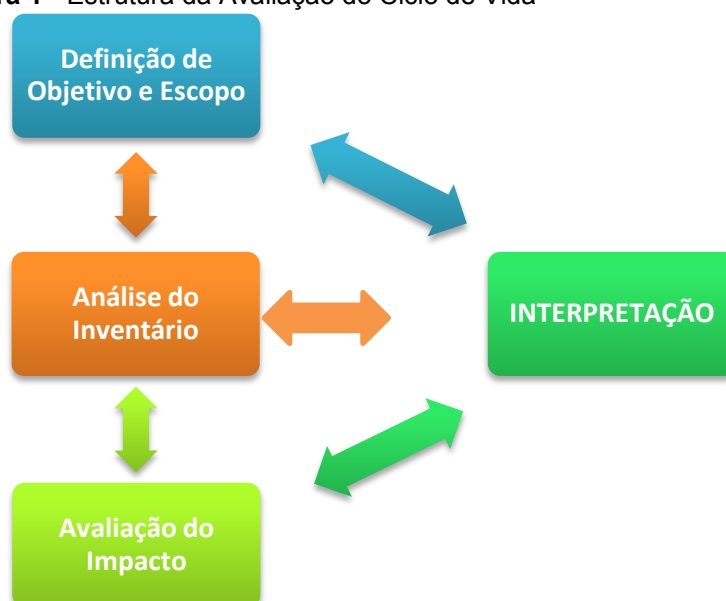
3.4. Metodologia

A metodologia para realizar a Avaliação do Ciclo de Vida terá como foco o sistema de transmissão de energia elétrica.

A metodologia de aplicação dos estudos da Avaliação do Ciclo de Vida compreende, de maneira simplista, a definição de objetivo e escopo, o Inventário do Ciclo de Vida (ICV), a avaliação dos potenciais impactos ambientais para ser feita uma interpretação dos resultados obtidos, aos quais significam identificar todas as interações do ciclo de vida de um produto com o meio ambiente (RIBEIRO, 2003, p.11).

A ACV é orientada pelas várias cláusulas de normas especificadas na ISO 14040. É uma técnica composta de etapas interativas com objetivo de responder questionamentos como: “qual produto gera maior impacto?”, ou “qual etapa do ciclo de vida do produto exige maior uso de recursos como água, energia, matéria-prima?” (ACV BRASIL, 2017).

Figura 1 - Estrutura da Avaliação do Ciclo de Vida



Fonte: NBR ISSO 14040 (2001)

A Avaliação do Ciclo de Vida é iniciada pela definição do escopo ou foco do estudo (objetivo). Por conseguinte, são definidos os processos do ciclo de vida, com o intuito de se determinar a raia de pesquisa. Logo após, é preparado um inventário do deslocamento de energia e matéria, processo este que exige maior tempo. São classificados os tipos de impactos, conforme proporção e grau destes danos gerados no meio ambiente. Para concluir, analisam-se os resultados e definem-se soluções ou comparações de sistemas e produtos (FERREIRA, 2011). Dentro da interpretação de resultados existem algumas aplicações diretas como o desenvolvimento e melhoria do produto, o planejamento estratégico para ele, a elaboração de políticas públicas, a influência no marketing, entre outras.

Ressalta-se que o Brasil segue a norma ISO 14040:2009, pois nela consta a padronização internacional para realização da ACV de um produto. (ABEPRO, 2007)

3.4.1. Definição dos Objetivos e Escopo

A partir da definição dos objetivos e escopo é que todo o resto do trabalho se desenvolve. Portanto, é uma das etapas mais relevantes da ACV, pois se não se define o que se quer avaliar, os resultados para o caso podem ser invalidados ou as medidas indicadas para serem tomadas na mitigação dos danos podem não ser corretas.

A fase de definição do objetivo deve abranger, sem espaço para dúvidas, a pretensão da aplicação, bem como as razões para guiar o estudo e qual o público que se deseja atingir, ou seja, quem são as pessoas que se deseja expor e transpor os resultados da avaliação (ABEPRO, 2007). Pode-se considerar a otimização de um produto, a comparação de sistemas de produto, ou ainda, o aprimoramento deste, como exemplos da pretensão da aplicação.

Já na determinação do escopo do estudo, segundo a ABEPRO (2007), faz-se necessária a consideração clara: da função do sistema de produto e unidade funcional; das fronteiras do sistema; dos requisitos da qualidade das informações, dados coletados para o estudo; das comparações entre sistemas; e das contemplações sobre a análise crítica. É a partir da definição do escopo que é dito o que será analisado e como será feita a Avaliação do Ciclo de Vida.

Também, nesta etapa, se devem afirmar de forma clara as premissas adotadas. Essas premissas podem incluir a impossível obtenção de certos dados devido inviabilidade ou complexidade, bem como situações com soluções impraticáveis. O grau de exatidão dos resultados está ligado diretamente com a acessibilidade aos dados. É preciso declarar a disponibilidade dos dados para o estudo, o tempo propiciado e os benefícios e recursos financeiros previstos.

3.4.2. Análise do Inventário de Ciclo de Vida

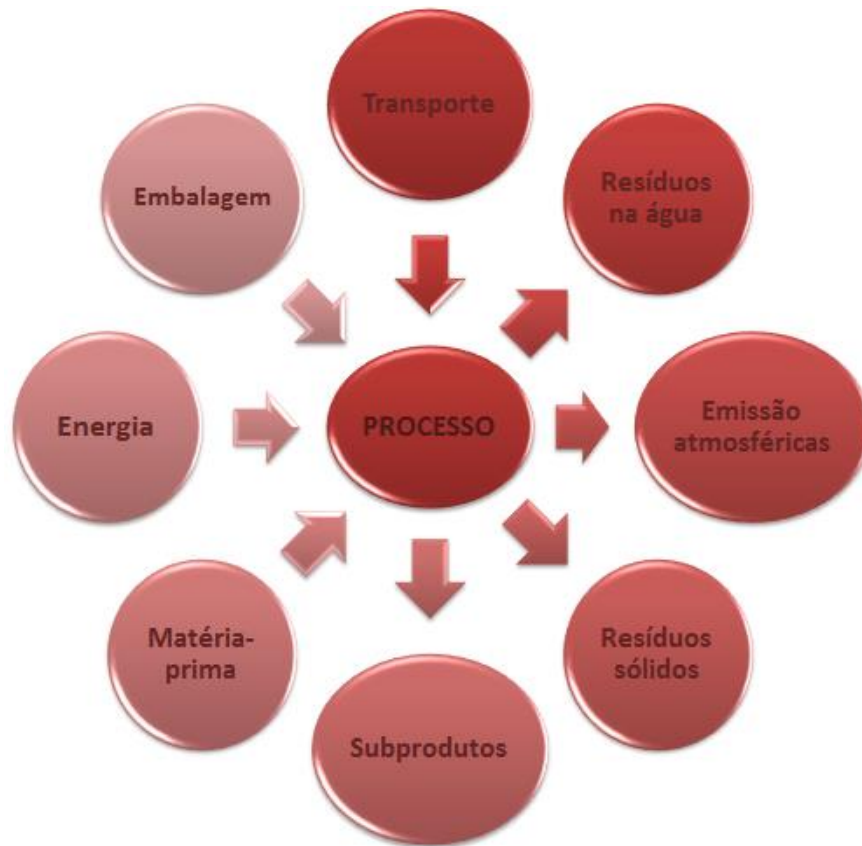
O Inventário de Ciclo de Vida deve incorporar todas as considerações e premissas dentro das fronteiras estipuladas no escopo. A coleta das informações é um procedimento demorado e custoso. Assim sendo, é importante respeitar as limitações da avaliação, também, pré-definidas no escopo do projeto.

É declarado pela Associação Brasileira de Engenharia de Produção-ABEPRO, 2007, dentre os conceitos e aplicações da ACV que:

“A análise de inventário envolve a coleta de dados e procedimentos de cálculo para quantificar as entradas e saídas pertinentes de um sistema de produto. Estes dados também constituem a entrada para avaliação do impacto do ciclo de vida.”

Onde as entradas e saídas (*Input – Output Analysis*) contemplam a quantidade de matéria-prima necessária durante o processo de ciclo de vida do produto ou serviço (entrada), a energia utilizada, a emissão total de gases e de lançamento de efluentes (saída), o montante de combustível para transporte (entrada), geração de resíduos sólidos em decorrência deste processo (saída) (ROSSATO, Ivete de Fátima, 2009). A Figura 2 retrata exemplos de entradas e saídas de um processo em geral. Ressalta-se que por ser um processo iterativo, no transcorrer da análise do inventário podem ser feitas alterações, tanto inserindo novas variáveis quanto utilizando novos limitantes, ou ainda, adaptações para obtenção dos dados e revisão dos objetivos do escopo.

Figura 2 - Diagrama de exemplos de entradas e saídas



Fonte – Adaptado de FERREIRA (2011, p.16)

Assim, é através do ICV que são apontadas e dimensionadas todas as entradas e saídas do sistema de produção referentes aos tipos de impactos relacionados ao estudo, desde os materiais e energia usados, até as emissões geradas. Segundo ROSSATO (2009), a ponderação de massas e de energia é realizada para toda a linha produtiva que contempla: a retirada e o processamento dos recursos materiais, a fabricação do produto, o transporte e distribuição dele, também, o uso, o reuso e manutenção, além da reciclagem e descarte final do produto.

Na estratégia de obtenção dos dados leva-se o preceito da coleta desses dados de forma qualitativa e quantitativa para cada uma das etapas do processo enquadradas nas fronteiras do sistema. Logo, devem ser elencadas na análise de entradas, a energia, a matéria e o uso da terra e nas saídas, as categorias do tipo subproduto e rejeito. (FERREIRA, 2011).

Vale lembrar que o consumo de recursos vem sendo contemplado para auxílio na redução da aquisição de elementos naturais, na consideração dos relacionamentos internos entre este consumo e energia, assim como, na emissão de resíduos gerados no sistema de produção. (ROSSATO, 2009)

3.4.3. Avaliação dos Impactos do Ciclo de Vida - AICV

A Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida nada mais é do que uma análise voltada ao entendimento e avaliação da grandeza e importância dos potenciais impactos ao meio ambiente de um sistema de produto ou serviço. (NBR ISO 14040,2009). Nesta etapa, os fluxos estabelecidos no inventário são transformados em danos ambientais mediante multiplicação dos valores brutos por fatores de equivalência que entregam resultados em unidades comuns, a título de exemplo, quilogramas de CO² correspondente à condição de aquecimento global. (IBICT, 2019).

De acordo com a NBR ISO 14040:2009 a AICV é destinada ao exame da relevância de eventuais impactos ambientais, utilizando os resultados da verificação do ICV. Na generalidade, este exame compreende a junção de dados do inventário com particulares impactos ambientais e o teste de interpretar estes impactos. O grau de minuciosidade, a seleção dos impactos analisados e os métodos utilizados dependem tanto do objetivo quanto do escopo do estudo, os quais, estes últimos podem ser adicionados, nesta avaliação, no processo iterativo de juízo crítico, ou seja, será determinado quando os objetivos foram atingidos, ou se há a necessidade de se modifica-los junto ao escopo, caso a avaliação indique que estes não podem ser concebidos.

Ainda em consonância com a NBR ISO 14040:2009 é dado que a AICV pode ser subdividida nos seguintes elementos ou etapas:

- (i) *Definição dos impactos:* carece da esquematização da relevância dos impactos no estudo. Exemplo: emissão de CO² impactando o aquecimento global, esgotamento dos recursos naturais, poluição do solo e das águas e desmatamento.

- (ii) *Classificação*: nada mais é do que a correspondência de dados do ICV por categorias de impacto – etapa qualitativa;
- (iii) *Caracterização*: cálculo dos resultados dos indicadores. É dimensionada a parcela de contribuição de cada um dos impactos ligados ao ciclo de vida do produto/serviço dentro das categorias consideradas – etapa quantitativa;
- (iv) *Normalização*: cálculo da amplitude dos resultados dos indicadores comparativamente a informações de referência – $\frac{\text{resultado indicadores}}{\text{valor referência}}$ – etapa opcional
- (v) *Agrupamento*: atribuição das categorias de impacto, ou seja, estipular o local de atuação: locais, regionais ou globais, por exemplo, ou o tipo de emissão (solo, água, ar) – etapa opcional.
- (vi) *Ponderação*: agregação dos resultados em casos particulares e apenas quando significativos.

O objetivo final é a compreensão e avaliação da confiabilidade dos resultados obtidos através da AICV.

Pontos como a definição de qual é a categoria do impacto, a modelagem e a avaliação dessas podem gerar subjetividade na AICV. Logo, entende-se que a transparência é um agente crítico na avaliação para garantir que as suposições estejam claramente especificadas e apresentadas. Quanto maior a transparência, maior o entendimento de como e porquê se atingiu os resultados. (NBR ISO 14040:2009).

Algumas incertezas nos resultados da Avaliação dos Impactos do Ciclo de Vida podem ser introduzidas devido à ausência de dimensões espaciais e temporais nas decorrências do ICV, sendo que essas acabam variando com as características de tempo e espaço de cada categoria de impacto.

Atualmente, não existem métodos largamente aprovados para relacionar de maneira condensada e precisa potenciais impactos ambientais específicos com dados de inventário. As metodologias para categorização dos impactos estão em estágios distintos de desenvolvimento.

3.4.4. Interpretação dos Resultados/Ciclo de Vida

Ao desfecho da ACV, busca-se combinar as constatações do ICV e do AICV com os objetivos e o escopo do estudo para assim alcançar conclusões, limitações e recomendações do trabalho, ou seja, checa-se a integridade, sensibilidade e consistência dos resultados do estudo. No caso do ICV são levadas em considerações apenas suas conclusões. (NBR ISO 14040, 2001).

É conveniente que essa interpretação pondere que os resultados da AICV são fundamentados em um tratamento relativo, os quais apontam possíveis impactos ambientais e que não pressupõem efeitos reais sobre os tópicos terminais de categoria, a ultrapassagem de limites, limiares de segurança ou riscos. (NBR ISO 14040, 2009).

O objetivo desta fase é o fornecimento de um relatório claro, sucinto, porém completo, com justificativas plausíveis e consolidadas, que contenha todas as informações do estudo, incluindo seus resultados e conclusões. Este deve ser elaborado de maneira transparente e objetiva, esclarecendo os motivos de escolhas tomadas nas análises, especialmente aquelas que geram interpretação subjetiva. (FERREIRA, 2011)

Ressalta-se que as apurações dessa interpretação são capazes de se tornarem conclusões e recomendações para aqueles que são tomadores de decisão em órgãos, entidades e empresas, sendo compactuadas com o objetivo e escopo do estudo (NBR ISO 14040, 2009). Nem sempre, a partir da interpretação dos resultados, chega-se na definição de qual sistema é melhor do que outro dentro da ACV devido às suposições, adequações e estimativas levadas em consideração no estudo. Porém isso não quer dizer que a ACV foi falha ou descartável, pois ao fornecer subsídios ao tomador de decisão no melhor entendimento dos potenciais impactos causados ao ambiente e à saúde do homem, em decorrência do seu produto ou serviço, pode-se chegar à determinação de vantagens e desvantagens de se adotar cada sistema de produto.

3.5. Aplicações

A Avaliação do Ciclo de Vida tem sua visão direcionada ao sistema de produto. Ao englobar todo o ciclo de vida ela aprofunda a investigação dos danos ambientais gerados pelo bem ou serviço em questão. Logo, as empresas ao utilizarem o método nos seus setores de planejamento ajudarão nas suas escolhas de quais produtos utilizarem, ou ainda, como aprimorar o processo de fabricação em si. Além disso, pode-se utilizar o método na comparação de dois sistemas de produtos para lhe auxiliarem. Por ser um método com aspecto sistêmico ou holístico, a ACV pode ser uma forte ferramenta na tomada de decisões, seja de caráter ambiental, político ou social. De forma genérica, sua aplicabilidade rodeia a gestão empresarial, mas também organizações públicas na elaboração de políticas públicas, como no inventivo à sustentabilidade. (FERREIRA, 2011).

Como hoje há uma maior preocupação com as questões acerca do meio ambiente, os selos ambientais têm crescido valor aos produtos, dessa forma, as empresas que almejam expandir o mercado possuem suas atenções chamadas para o tema.

4. APLICAÇÃO DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DO SISTEMA DE TRANSMISSÃO BRASILEIRO

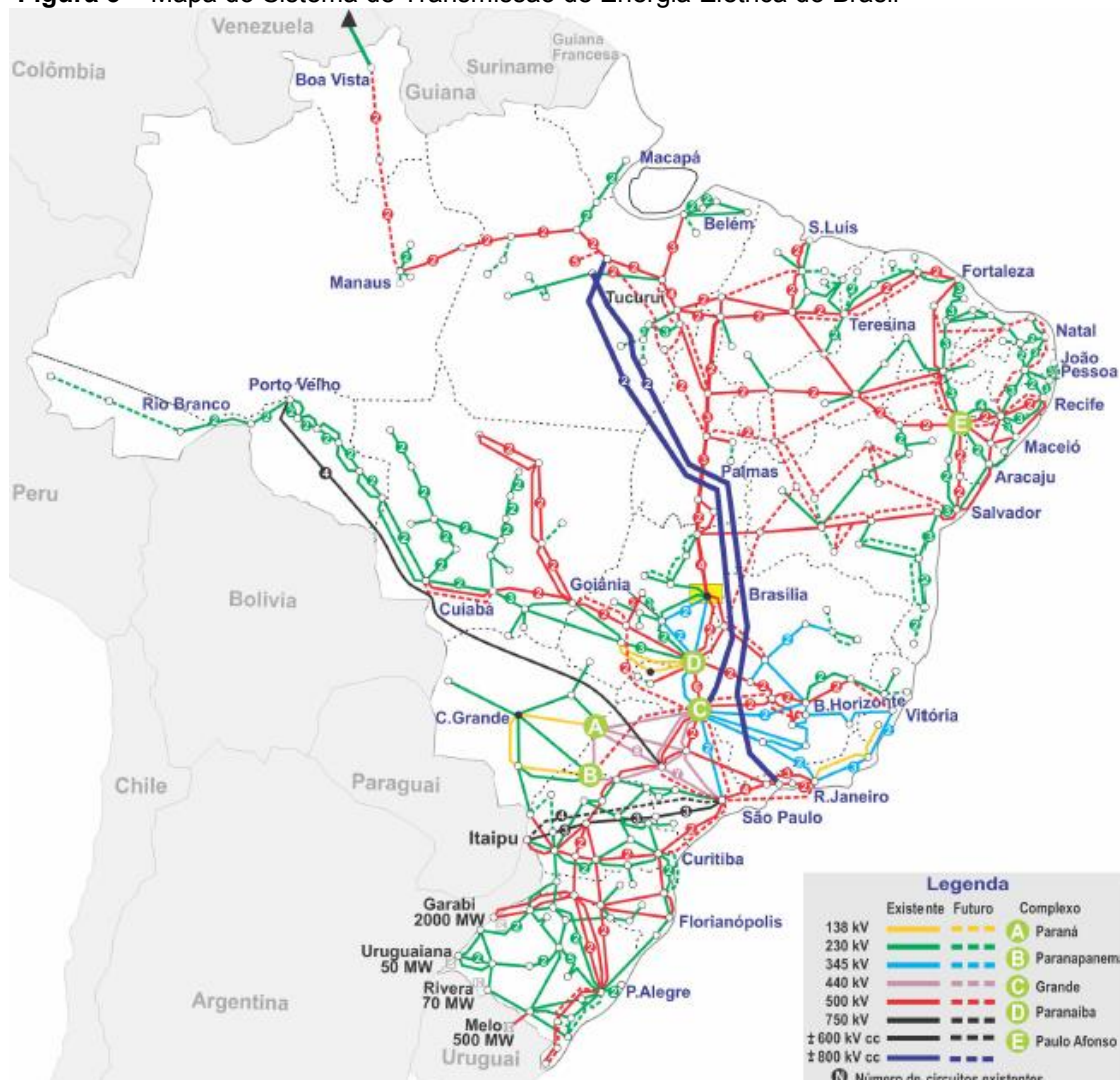
A partir de usinas como eólica, hidráulica, fotovoltaica, térmica, entre outras, é gerada a energia elétrica e para que haja a condução dessa energia gerada até os sistemas de distribuição, que fará com que ela chegue até os consumidores, são utilizadas linhas de transmissão – LT's.

Grande parte das usinas hidrelétricas, principal fonte de geração de energia no Brasil, está muito distante dos grandes centros de consumo, fazendo com que seja primordial a viabilização de uma rede confiável e extensa para transportar toda essa gama energética disponível. Quanto maior a distância das fontes geradoras até as cargas aumenta-se a imprescindibilidade por projetos de transmissão mais robustos, unindo todos os recursos e otimizando o sistema de produção de energia elétrica no Brasil. (MENEZES, 2015).

Na Figura 3 é mostrada a composição do Sistema Interligado Nacional - SIN, publicado e atualizado pelo ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico em

setembro de 2019. Nele podem ser observadas todas as linhas de transmissão que compõem o sistema elétrico brasileiro, suas extensões e abrangências.

Figura 3 – Mapa do Sistema de Transmissão de Energia Elétrica do Brasil



Fonte: ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico. Mapa atualizado em setembro/2019

Segundo acompanhamento feito pela ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica – quanto da expansão do sistema de transmissão no Brasil, publicado em abril de 2018, ao considerar todos os empreendimentos em andamento que são monitorados pela Agência Reguladora, em média, há um atraso de 1.218 dias nas obras. Neste mesmo acompanhamento, ela publicou a redução do percentual de empreendimentos com previsão de atraso que tiveram um pico de 63,4% em 2017 para 40,5% até final de 2018, como pode ser visto no gráfico disponibilizado na Figura 4 abaixo.

Figura 4 – Redução do percentual de empreendimentos em andamento com previsão de atraso

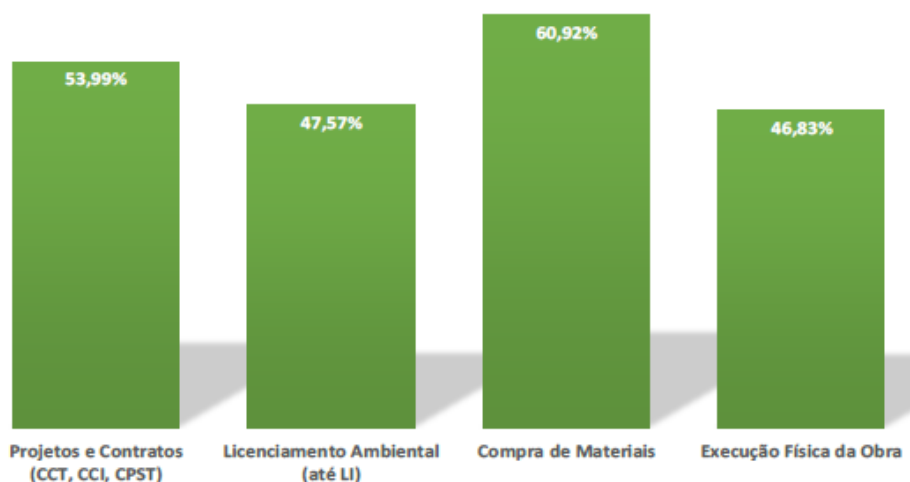


Fonte: ANEEL, 2018

Em 2018 havia 151 obras em andamento com previsão de atraso, o que compunha o percentual de 40,5%. Esta redução de 2016 a 2018 observada no gráfico da Figura 4 se deve a uma série de ações que a Agência teve de desenvolver. (ANEEL, 2018).

A causa dos atrasos está vinculada, principalmente, a questões de projetos e contratos das obras, ao licenciamento ambiental, à compra de materiais e à execução física da obra. A soma dos percentuais ser diferente de 100% na Figura 5 se deve as diversas obras possuírem mais de um fator de atraso. (ANEEL, 2018)

Figura 5 - Principais causas dos atrasos das obras de transmissão (2013–2017)



Fonte: ANEEL, 2018

Como as questões quanto à compra de materiais, o projeto e os contratos serem atividades paralelas ao licenciamento ambiental, um atraso no licenciamento pode reduzir o ritmo das demais ações. (ANEEL, 2018).

Como exposto acima, um dos problemas de atrasos na conclusão de obras, fazendo com que os empreendimentos de transmissão fiquem parados, ou ainda, não consigam seguir adiante, estão vinculadas ao licenciamento ambiental. Se fosse feita uma Avaliação do Ciclo de Vida dessas linhas antes do início das obras poderia ser mitigado este tipo de problema, não deixando com que o empreendimento fosse embargado ou afetasse o meio ambiente e ainda, haveria uma adequada alocação dos recursos, otimizando o funcionamento do sistema, buscando sustentabilidade, eficiência e eficácia como é o objetivo da ACV.

Sendo assim, nas subseções abaixo serão declarados o objetivo e escopo da ACV em linhas de transmissão. Será feito uma descrição do inventário de ciclo de vida, serão descritos os potenciais impactos entorno dessas obras e os resultados serão interpretados para auxiliar possíveis tomadores de decisão em suas conclusões ou podendo agregar em trabalhos futuros.

4.1. Definição dos objetivos e escopo do estudo de linhas de transmissão

O objetivo desta avaliação é a mitigação de possíveis impactos ambientais no transporte de eletricidade através de linhas de transmissão, ou ainda, otimização do sistema de transmissão. Também auxiliar em possíveis trabalhos futuros que envolvam a ACV aplicadas em linhas de transmissão no Brasil.

As razões que guiam este trabalho são os atrasos atuais em empreendimentos de transmissão devido ao não consentimento legal ambiental delas, ou seja, as obras acabam impactando o meio ambiente de tal modo que não conseguem nem receber as licenças LP, LI e LO, as quais compõem os requisitos mínimos para obras de grande porte na legislação brasileira.

Por conseguinte, o público alvo deste trabalho são empreendedoras, transmissoras, possíveis estudantes e empresas públicas ou particulares responsáveis ou interessados em otimizar a transmissão de energia elétrica no Brasil.

Como a eletricidade é um tema que envolve muitos processos, ela não seria um produto ideal para ser definido nas fronteiras do escopo desta avaliação, pois caso se tentasse englobar toda sua “vida”, acabaria resultando em uma grande quantidade de informações. Assim, na Avaliação do Ciclo de Vida das linhas de transmissão, o produto que será abordado é o serviço de transmissão de eletricidade. Dessa forma, o ciclo de vida se inicia na saída da eletricidade das subestações elevadoras até às subestações abaixadoras que irão transformar essa energia para serem distribuídas em redes de distribuição.

Figura 6 - Representação do Sistema Elétrico de Potência com destaque para as linhas de transmissão



Fonte: Lumus Engenharia, 2019.

Dentro da definição do escopo se deve limitar o que é significativo para o estudo e definir as fronteiras que representará a delimitação de sua abrangência.

Como, em geral, os sistemas de produtos são associados a outros

sistemas, como a obtenção de matéria-prima, a produção de insumos, subprodutos gerados, etc., é necessário estipular as fronteiras em relação a esses outros sistemas. Desse modo, serão estudadas as matérias-primas dos elementos básicos que compõem as linhas de transmissão que são os condutores de fase, os cabos para-raios, a estrutura, o aterramento e os isoladores, assim como os processos de produção de insumos quanto deste transporte de eletricidade.

Já a fronteira geográfica ficará limitada ao Brasil. A fronteira temporal ficará limitada na construção, operação e desativação dessas linhas. Neste estudo, não será considerada a infraestrutura das subestações e centros de operações necessárias para operação das LT's no processo de transporte de energia elétrica, pois existem muitos equipamentos que as compõem, como: transformadores, reatores, disjuntores, transformadores de potencial e corrente (TP's e TC's, respectivamente), para-raios, banco de capacitores, compensadores, isoladores, chaves seccionadoras, motores, retificadores, baterias, entre muitos outros. Caso fossem vistos estes tipos de equipamentos esta análise se estenderia de maneira exponencial e incontrolável.

Portanto, serão vistas todas as interações deste serviço, desde o início do transporte de energia com saída nas subestações elevadoras até a entrega nas subestações abaixadoras, quando a energia chega para ser rebaixada no sistema de distribuição, desconsiderando as infraestruturas ao seu entorno, serão considerados apenas os componentes e estruturas das linhas em si.

Além disso, serão adotadas certas premissas neste estudo. Não será aprofundado um tipo específico de linha de transmissão que compõe o SIN atual, a única especificidade é o foco em linhas aéreas, as quais utilizam condutores nus em sua dimensão, unidos nas estruturas por isoladores.

Como pode ser visto na Tabela 1 e na Figura 7, com dados divulgados pela ONS, as LT's são separadas pelos seus níveis de tensão e cada uma possui uma quilometragem e liga pontos com características geográficas diferentes, o Brasil é formado por condições climáticas e geográficas heterogêneas. Outro ponto é que o transporte de energia pode se dar em corrente alternada – CA e corrente contínua – CC.

O transporte em CA usa redes trifásicas com um ou mais subcondutores por fase e acaba sendo o mais utilizado por possuir maior flexibilidade, permitindo a

geração, transmissão, distribuição e uso da energia elétrica na tensão mais segura e econômica. Em contrapartida, a transmissão em CC tem sido empregada para transferir blocos maiores de potência a grandes distâncias, por meio de um ou dois polos com variados condutores por polo. À vista disso, apresenta redução de custos e perdas em comparação com a transmissão em corrente alternada para mesma potência, além do mais, podem ser usadas para a conexão de sistemas com frequências distintas, como o que ocorre na ligação entre Brasil e Paraguai em Itaipu, com 60Hz e 50Hz, respectivamente. (MENEZES, 2015)

Este trabalho terá uma visão menos aprofundada, analisando os potenciais impactos ambientais em torno do serviço de transmissão de energia como um todo. Ou seja, a avaliação será mais geral, pois caso fosse analisado cada tipo de linha se chegaria a uma quantidade de dados enorme.

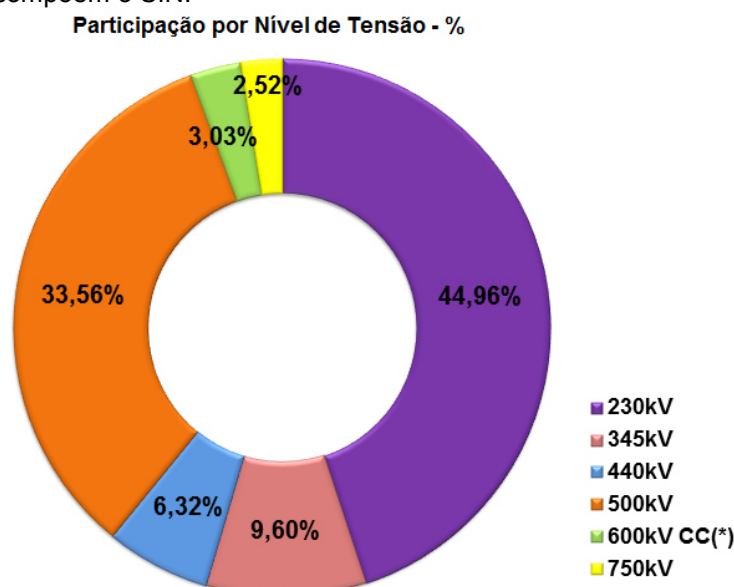
Tabela 1 – Extensão de Linhas de Transmissão do SIN – em km

Tensão	2008	2009	2010	2011	2012	2017
230kV	37.709,9	41.436,8	43.184,5	45.708,7	47.858,4	56.471,0
345kV	9.772,1	9.783,6	10.060,5	10.061,9	10.223,9	10.320,0
440kV	6.671,2	6.671,2	6.670,5	6.680,7	6.728,2	6.748,0
500kV	31.868,3	33.196,3	34.356,2	35.003,4	35.726,2	47.750,0
600kV CC(*)	3.224,0	3.224,0	3.224,0	3.224,0	3.224,0	12.816,0
750kV	2.683,0	2.683,0	2.683,0	2.683,0	2.683,0	2.683,0
800kV	-	-	-	-	-	4.600,0
SIN	91.928,4	96.994,8	100.178,7	103.361,7	106.443,7	141.388,0

Fonte: ONS – Operador nacional do sistema Elétrico (2017)

(*) – Linha em corrente contínua

Figura 7 – Percentual, por nível de tensão, de linhas de transmissão que compõem o SIN.



Fonte: ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico (2012)

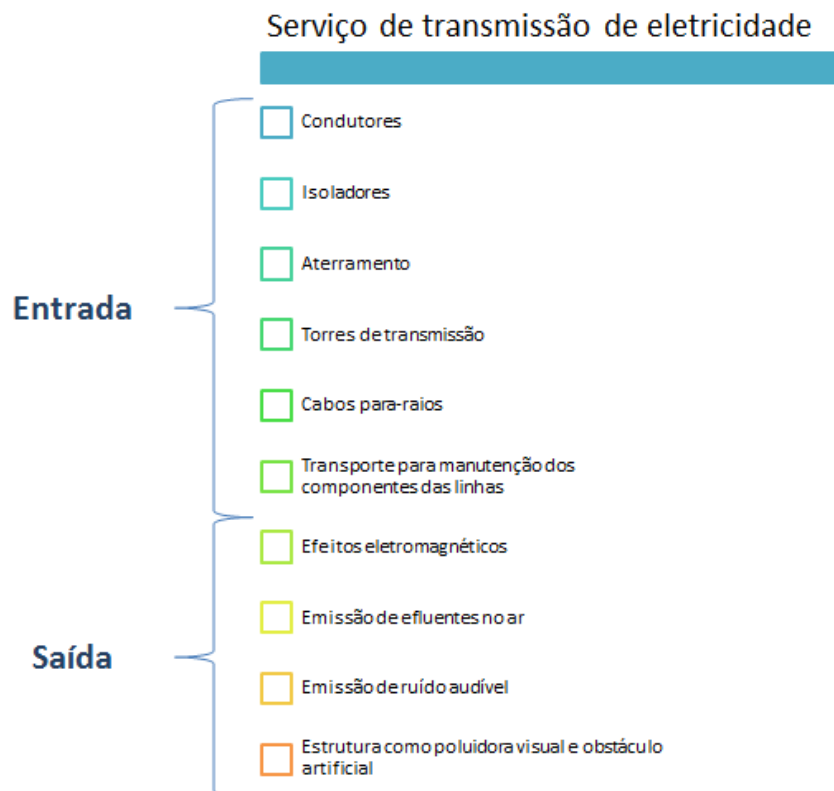
4.2. Descrição do inventário de ciclo de vida das linhas

Segundo RIBEIRO (2003) existe quatro meios principais de fontes de dados para coleta e composição no ICV: dados de literatura, bancos de dados eletrônicos, dados expostos por terceiros, sejam órgãos do governo, empresas, laboratórios, etc. e aferições diretas em campo.

Portanto, a forma de coleta de dados deste estudo é através de dados eletrônicos e dados de literatura, ou seja, foram feitas consultas a publicações técnico-científicas referentes ao tema.

A Análise do Inventário do Ciclo de Vida envolve tanto a coleta de dados quanto procedimentos de cálculos para se mensurar as entradas e saídas que compõem o sistema, e estas entradas constituem as mesmas para realização da AICV. Deste modo, as etapas do processo enquadradas nas fronteiras expostas no tópico 4.1. de definição dos objetivos e escopo estão separadas de forma genérica no esquema abaixo:

Figura 8 - Esquema genérico das etapas de entradas e saídas que abrangem o serviço de transmissão de eletricidade



Fonte: Autoria própria

A partir da elaboração do esquema genérico acima, foi possível desmembrá-lo construindo explicitando cada processo unitário:

- **Condutores**

Desde 1920 os cabos condutores vêm sendo elaborados por um material classificado como bom condutor elétrico associado a um material mecanicamente resistente com o intuito de reforçar o condutor, para linhas aéreas de transmissão de eletricidade. Estes tipos de cabos são denominados ACSR – *Aluminum Conductor Steel Reinforced*, ou na tradução, alumínio com alma de aço, também conhecidos como cabos CAA. (O SETOR ELÉTRICO, 2018).

Normalmente, no Brasil, as linhas de transmissão com tensão superior a 230 kV usam cabos condutores do tipo ACSR. A relação de camadas de fios de alumínio, concêntricas, e de fios de aço é o que dá a formação ao cabo. A alma de aço tem o objetivo de fornecer maior resistência mecânica ao cabo. (DEE – UFRJ, 2019).

Adota-se, então, como material para aprofundamento deste ICV o aço e o alumínio como componentes dos cabos condutores de LT's.

- **Isoladores**

Geralmente, os isoladores são formados por discos de vidro, poliméricos ou porcelanas. (OLIVEIRA, 2009)

Conforme abordado por SANTOS e GARCIA (2003), a porcentagem aproximada de cada tipo de isolador nas LT's do Brasil em 2003 era:

Tabela 2 – Porcentagem aproximada de cada tipo de isolador em LT's

Para tensões superiores a 230kV		
80kN	Vidro	15,4%
	Porcelana	24,3%
	Polimérico	0,1%
120kN	Vidro	46%
	Porcelana	8,2%
	Polimérico	0,8%
160kN	Vidro	3,6%
	Porcelana	1,7%
	Polimérico	0,2%

Fonte: SANTOS e GARCIA (2003)

Ou seja, é predominante o uso de isoladores de vidro nos empreendimentos de LT's no Brasil, logo este tipo de material é o que será levado em consideração na entrada de recursos deste trabalho.

- **Aterramento**

O aterramento é feito, usualmente, por cabos de cobre e/ou aço cobreado, descarregando as tensões excedentes na terra. O cobre será o material adotado para análise desta atividade por ser melhor condutor e mais usual.

- **Torres de transmissão**

As estruturas das linhas de transmissão são componentes que servem como fornecedoras de sustentação ao circuito, tendo de suportar os esforços mecânicos causados pelos cabos, além de manter o espaçamento entre os cabos condutores e para-raios, dimensionados com compatibilidade entre as distâncias elétricas das partes aterradas com o nível de tensão. Há uma grande variedade de torres que dependem do nível de tensão, número de condutores por fase, região de implantação, sendo a grande maioria é formada por estruturas metálicas em aço. (DEE – UFRJ, 2019)

- **Cabos para-raios**

Os cabos para-raios são usados no fornecimento de um caminho para as descargas atmosféricas que venham a atingir o circuito das linhas de transmissão aéreas. Geralmente, eles são aterrados em torres alternadas. (DEE – UFRJ, 2019)

Há dois tipos de para-raios distinguidos pelo tipo de material semicondutor usado em sua fabricação: os de carboneto de silício (*SiC*) e os de óxido de zinco (*ZnO*). Os para-raios constituídos por óxido de zinco (*ZnO*) são formados por uma combinação de óxido metálico: zinco, em grande proporção, antimônio, manganês, bismuto e cobalto, em menores proporções. A grande maioria desses para-raios não possuem centelhadores, por não existir o risco de sobreaquecimento em decorrência da alta impedância do *ZnO*. (GIAROLA, 2016).

Como os para-raios de Óxido de Zinco (*ZnO*) sem centelhadores são os mais utilizados para linhas de transmissão, este material será adotado na análise deste trabalho.

- **Transporte para manutenção dos componentes das linhas**

As linhas são situadas em locais distantes das regiões de consumo da energia, fazendo com que haja deslocamento de funcionários capacitados a realizarem as manutenções necessárias em seus equipamentos e estrutura, ou seja, é utilizado combustível para o transporte de técnicos e especialistas até elas.

Os maiores responsáveis pela exagerada emissão de CO² (dióxido de carbono) na atmosfera se deve à queima dos combustíveis fósseis formados por compostos de carbono, como o gás natural, o carvão e os derivados de petróleo,

como o óleo diesel e a gasolina. Esses combustíveis são queimados na geração de energia e na movimentação de carros, ocasionando alteração no equilíbrio térmico da Terra e poluição atmosférica. Outro fator agravante é o desmatamento de vegetações, também contribuinte em provocar alteração dos níveis de dióxido de carbono no planeta, na liberação do gás pela queima da madeira e assim reduzindo a quantidade de árvores que realizam a fotossíntese.

- **Efeitos eletromagnéticos**

De acordo com a norma técnica NBR 5422 – referente a “Projeto de linhas aéreas de transmissão de energia elétrica” – existem condições mínimas requerentes em um projeto de empreendimentos de LT’s para que sejam garantidos níveis básicos de segurança e limitantes de perturbações em instalações que as rodeiem. O nome designado a este estabelecimento quanto aos limites de segurança de exposição aos campos elétricos e magnéticos em todos os lados laterais das linhas pelas suas dimensões é chamado de “faixa de servidão” ou também “faixa de passagem”. A norma NBR 5422 declara a metodologia para que sejam feitos cálculos quanto a largura da faixa de segurança de linhas aéreas. (ARANTES et al. 2016).

Existem alguns estudos experimentais e epidemiológicos em animais de laboratório, seres humanos e em cultura de células, para avaliação entre possíveis relações entre o câncer ocasionado por campos eletromagnéticos. Esses estudos chegaram a algumas conclusões citadas no artigo formulado por ARANTES et al. (2016):

- Há a indução de correntes elétricas internas nos corpos de animais e seres humanos quando estes são expostos a campos elétricos e magnéticos em 60Hz. Essa corrente induzida possui densidade disforme por todo o corpo, porém não existem dados teóricos e experimentais sobre ela que tragam considerações às oscilações locais dos empreendimentos elétricos do meio, como a condutividade e permissividade;
- A maior parte dos efeitos biológicos é ligada à exposição a campos magnéticos, pois campos elétricos com frequência de 50Hz e 60Hz não possuem uma capacidade de penetração alta. Além disso, o grau de

exposição a estes campos não têm recebido grande atenção e, assim, não existem muitas informações disponíveis a respeito desses níveis que divirja do valor médio ao quadrado da intensidade do campo. Também não se tem convincentes evidências científicas da causa de câncer em animais devida a exposição a esses campos.

Segundo a Lei nº11.934, de 2009, é definido limites à exposição do ser humano a campos eletromagnéticos devido funcionamento de sistemas de eletricidade. A Lei baseou seus limites nos valores recomendados pela Organização Mundial de Saúde – OMS, a qual se fundamenta em estudos biológicos, epidemiológicos e científicos em relação a possíveis efeitos dos campos elétricos e magnéticos no ser humano. (ANEEL, 2016)

Tabela 3 - Valores Referência de Campo Elétrico e Magnético para Instalações em 60 Hz

	Campo Elétrico (kV/m)	Campo Magnético (µT)
Público em geral	4,17	200,00
População ocupacional	8,33	1000,00

Fonte: ANEEL, 2016

Segundo ARANTES et al. (2016) há evidências laboratoriais que revelam que animais possuem a capacidade de reconhecer e responder a campos elétricos externos em valores de 5 kV/m.

- **Emissão ruído audível**

Conforme falado por PINTO (2008), há um ruído gerado pelas linhas de transmissão de eletricidade, principalmente linhas de tensão superior a 138kV, que pode gerar perturbações no ambiente sonoro das zonas onde estão implementadas. O grau do ruído é, normalmente, quantificado em decibéis (dB). (PINTO, 2008).

Ainda na mesma dissertação, PINTO (2008) expõe que se entende por ruído todo som que gere uma sensação desagradável aos ouvidos, que incomode e que possa se tornar perigoso, devido a sensibilidade da audição humana a deslocamentos de ar processados pelas ondas acústicas manifestadas em forma de

pressão.

O principal causador do ruído audível nas linhas de transmissão é o fenômeno denominado Efeito Coroa (EC), que ocorre na superfície dos condutores. (PINTO, 2008).

O Efeito Coroa nada mais é do que um conjunto de fenômenos ligados às ionizações parciais (ou locais), antecessoras à descarga por meio do ar em campos muito diversificados. O ruído acontece durante semi-ciclos positivos da tensão da linha e é conhecido por uma crepitação ou estalos. (PINTO, 2008).

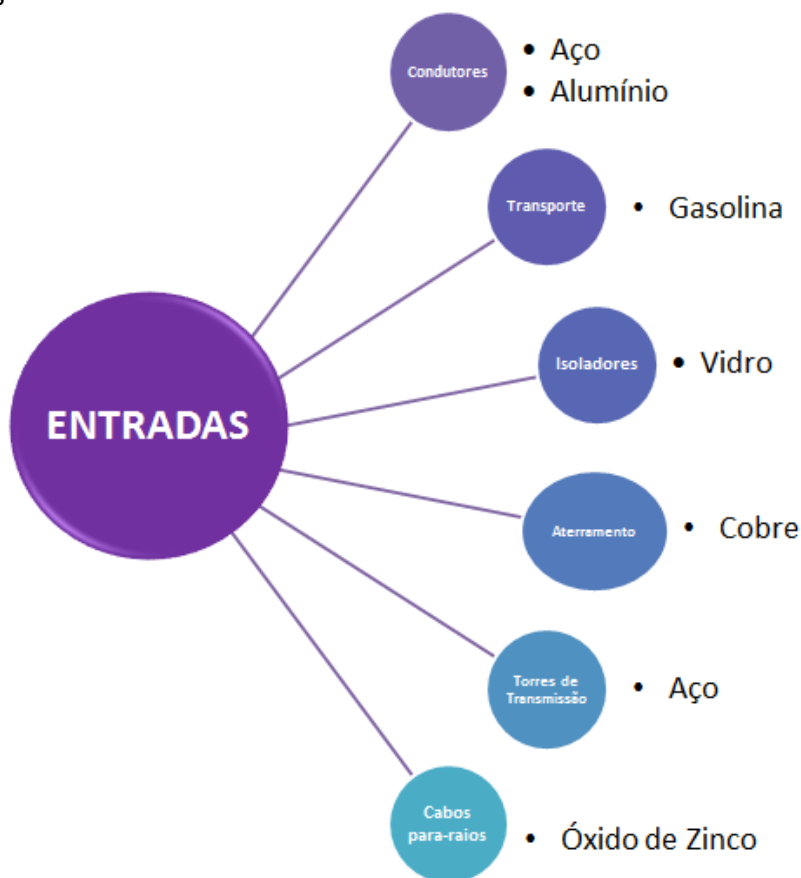
- **Estrutura como poluidora visual e obstáculo artificial**

A estrutura que constitui as linhas de transmissão, por suas dimensões, acaba degradando a paisagem natural da região onde está alocada, não possuindo integração com o meio ambiente. Além disso, quando situadas em área urbana, principalmente, causam desordem cênica. Outro agravante no meio natural é que ela acaba servindo de obstáculo artificial para rotas migratórias de aves, assim como, implica biologicamente na fauna e na flora. (REIS, 2017).

Outro impacto causado pela estrutura está relacionado ao solo e a água. Ela é toda estacada, fazendo-se necessária a retirada da cobertura vegetal, além da escavação, danificando profundamente o solo e podendo intervir em recursos hídricos dependendo da região que está alocada.

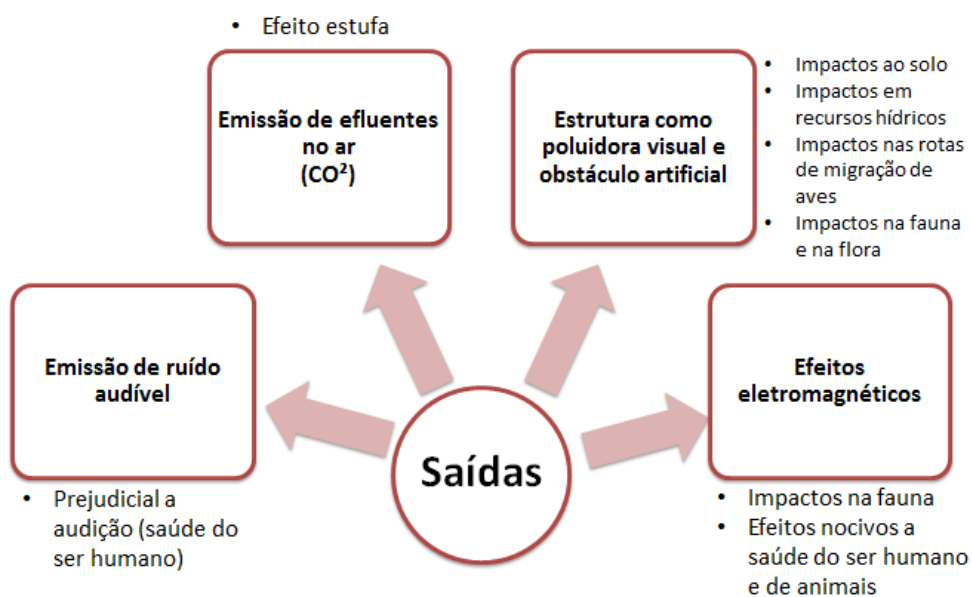
Após exposição de cada entrada mostrada na Figura 8, obtém-se uma relação desmembrada dessas entradas em recursos materiais, como pode ser visto na Figura 9, onde elementos como o aço, o alumínio, o cobre, a gasolina, o óxido de zinco e o vidro, estão elencados aos equipamentos/atividades que os trazem. Já na Figura 10, as saídas estão divididas em suas principais consequências ambientais. Vale ressaltar que não se pode desconsiderar todo o processo entorno desses recursos materiais para transformá-los nos equipamentos/serviços finais que eles estão ligados.

Figura 9 - Desmembramento dos componentes das linhas de transmissão em matérias-primas



Fonte: Autoria Própria

Figura 10 - Esquemática dos impactos dos elementos de saída



Fonte: Autoria Própria

Conforme falado por RIBEIRO (2003) em sua dissertação, ao final da fase

de elaboração do ICV se obtém uma planilha com os aspectos ambientais quantificados de cada processo separado, porém por não se ter definido neste trabalho uma linha de transmissão específica para coleta de todas as informações como: estatura das estruturas das torres, quilometragem e quantidade de cabos condutores, quantidade de isoladores necessários devido aos níveis de tensão e dimensão da linha, quantidade de cabos de cobre para aterramento e de cabos para-raios, e também dados operacionais da frequência de manutenção dos equipamentos e empreendimento em si, de forma quantitativa e qualitativa, a planilha com as quantidades e cálculos dos aspectos ambientais de cada processo se torna inconcebível.

Assim, neste ICV foram expostas todas as entradas e saídas pertinentes de análise no ciclo de vida do serviço de transporte de energia através das linhas de transmissão de modo geral. Para obtenção de resultados mais conclusivos deve-se estipular um trecho específico, fazer um estudo de caso de uma LT só, levando em consideração todas as suas características geográficas, climáticas e seus elementos para implantação, assim como informações da aferição em campo do ruído audível e dos campos eletromagnéticos emitidos, toda a coleta de dados de forma quantitativa e qualitativa.

4.3. Descrição dos possíveis Impactos Ambientais do Ciclo de Vida de linhas de transmissão

Segundo REIS et al. (2017) e pelas declarações expostas pelo ICV deste trabalho, como possíveis impactos ambientais gerados pelo sistema de transmissão de eletricidade podem ser citados:

- Estrutura das torres:
 - quanto ao solo: erosão – os danos podem ser por tempo determinado ou até mesmo permanente; o uso pode se tornar limitado devido à servidão; abertura da faixa de servidão, de estradas de acesso, locais de montagem da estrutura e para lançamentos de cabos;
 - uso de recursos naturais para sua fabricação: aço, energia e água;
 - quanto a recursos hídricos: para implantação das torres é preciso que essas sejam estacadas ao solo de maneira profunda, podendo afetar lençóis freáticos, assim como, ocasionar implicações de borda em rios

da região;

– quanto à retirada da cobertura vegetal: danos por tempo indeterminado à vegetação;

– quanto ao visual: degradação da paisagem, desordem cênica e falta de integração;

– intervenção na fauna como, por exemplo, na rota de migração dos pássaros;

– retirada de recursos do meio natural;

– Implicações biológicas na fauna e na flora;

– Intervenção em áreas legalmente protegidas;

– Intervenções com populações indígenas ou outros grupos;

– Deslocamento das populações impactadas;

– Instigação à ocupação desenfreada nas margens de linhas de transmissão e entradas de acesso;

– Intervenção nas atividades agropecuárias; danos temporários às áreas cultivadas;

– Intervenção em obras, passagens de acesso público e no tráfego; e ainda em áreas de interesse histórico e cultural;

– Danos as estradas vicinais e passagens públicas;

– Despejo de entulho e lixo em torno da estrutura;

- Condutores:

- uso de recursos para sua fabricação: aço, alumínio, energia e água;

- Isoladores:

- uso de recursos para sua fabricação: vidro, água e energia;

- Aterramento:

- uso de recursos para sua fabricação: cobre, água e energia;

- Cabos para-raios:

- uso de recursos para sua fabricação: óxido de zinco, água e energia;

- Ruído audível:

- prejudicial à audição humana e de animais;

- Transporte de equipamentos e funcionários para manutenção:

- uso de veículos com combustíveis advindos dos combustíveis fósseis, como diesel e gasolina: emissão de CO² impactando no efeito

estufa;

- Efeitos do campo eletromagnético:
 - prejuízo à saúde humana e de animais;
- Perigo de acidentes:
 - prejudicial ao homem e animais, que podem ocasionar mortes;

Ressalta-se que os processos para elaboração dos elementos que irão compor a estrutura das linhas de transmissão também devem ser levados em consideração na avaliação de possíveis impactos ambientais, mas que não será aprofundado nesta análise pelo objetivo ser o serviço de transmissão de energia em si.

A desativação de linhas gera resíduos sólidos, subprodutos, que caso não tenham um fim determinado, acabam virando lixo e entulho no ambiente.

4.4. Interpretação dos resultados do estudo

As linhas aéreas de transmissão de energia podem impactar o meio ambiente em etapas do seu ciclo de vida (construção, operação e desativação). É interessante que seja feita uma avaliação do ciclo de vida desses tipos de empreendimentos antes que eles venham a ser implantados.

Neste trabalho foram expostos, a partir do uso da metodologia da ACV, potenciais impactos ambientais no ciclo de vida de LT's no Brasil, com certas fronteiras e premissas esclarecidas anteriormente.

A partir da elaboração do ICV foi possível perceber que para obtenção de resultados mais conclusivos, a ACV deve focar em um trecho específico da linha de transmissão, em apenas um empreendimento, no serviço daquela obra, pois as linhas no Brasil, como exposto na Tabela 1 e Figura 7, variam conforme seu nível de tensão e dimensão, e por ser um país formado por regiões heterogêneas, suas condições climáticas e geográficas diferem conforme cada localidade, fazendo com que cada linha tenha suas características específicas geograficamente, climaticamente, além do acesso a vários tipos de materiais que variam conforme o objetivo do agente responsável pela construção da LT. Logo, algumas informações

objetivas, específicas e relativas de cada obra só seriam possíveis de se adquirir estudando caso a caso, assim como também aferir em campo, impactos como ruído audível e campos eletromagnéticos, coletando dados de forma quantitativa e qualitativa para composição do ICV.

Porém não é pela abrangência do estudo ter sido generalizada a todas as linhas de transmissão no Brasil que a análise foi falha ou descartável, muito pelo contrário, a partir dela é possível visualizar de forma genérica os principais impactos em torno do transporte de energia elétrica pelas LT's, fornecendo assim subsídios a tomadores de decisões no melhor entendimento quanto aos impactos causados ao meio ambiente e à saúde humana e animal, em decorrência deste serviço. É possível chegarem a vantagens e desvantagens da adoção de certas ações. Também é viável que se aproveite todo o aqui exposto em futuros trabalhos que envolvam o tema.

Além disso, como sugestões de mitigação de determinados impactos ambientais pode-se estender o estudo na utilização de nanomateriais, por exemplo, que acabaram se tornando, na atualidade, alternativas ao uso do aço e do alumínio ligas. Outro ponto é o setor de transporte ser um grande motivador à emissão de CO² pela queima de combustíveis derivados do petróleo prejudiciais ao efeito estufa. Portanto, para deslocamento de materiais e técnicos às zonas que estão implantadas as LT's prezam-se pelo uso de outros tipos de combustíveis, como o etanol e o biodiesel, que são menos poluidores à atmosfera, assim como, o uso de veículos elétricos ou que funcionem por células de hidrogênio.

Outra alternativa é a implantação de linhas subterrâneas, que mesmo tendo altos custos, se tornam grandes soluções para centros urbanos evitando problemas quanto ao visual, além da diminuição da retirada de cobertura vegetal, evitando a intervenção na fauna e na flora como um todo. A estrutura não atrapalharia a rota de migração dos pássaros, não afetaria populações indígenas ou outros grupos, não acarretaria no deslocamento de populações impactadas e não seria um local instigado para ocupação desenfreada em suas margens e entradas de acesso, como também, não impactaria atividades agropecuárias.

A análise dos valores do campo elétrico e magnético é primordial para a garantia da segurança dos seres humanos e dos animais que estão localizados na

faixa de passagem de linhas. É devido a isso, que órgãos do governo estipulam os máximos níveis admissíveis para tais grandezas. Existem vários estudos e especulações sobre os danos da exposição de humanos aos campos eletromagnéticos; mas nenhum deles apresenta resultados conclusivos concretamente. Ainda assim, reitera-se a importância de estudos nessa área, com o intuito de determinar os graus aceitáveis de campos eletromagnéticos, com eficácia, na faixa de servidão e retificá-los, caso necessário. Sugere-se a realização de estudos subsequentes de metodologias analíticas para concepção e otimização de ferramentas que façam o cálculo dos campos para determinação precisa da formação deles em LT's, para que se aplique a realidade em sistemas de alta tensão. (ARANTES et al., 2016).

Como na desativação de linhas de transmissão há o problema de geração de resíduos sólidos, faz-se necessário que os entulhos gerados tenham um fim planejado. Certos materiais podem ser reutilizados e reciclados, e outros quando não possuem emprego em outra funcionalidade, devem ter um descarte correto, para que assim não sejam gerados entulhos e lixos que contaminem o solo, as águas e o ar.

5. CONCLUSÃO

A ACV se tornou uma importante ferramenta de gestão ambiental por fornecer uma visão sistêmica ou holística do produto, avaliando os danos ambientais desde a obtenção de matéria-prima até a desativação ou deposição dele, ou seja, a ACV tem como ênfase o sistema de produto.

Ela pode ser aplicada no sistema energético como pôde ser observado neste trabalho, no caso, o produto adotado foi o transporte de energia elétrica, englobando toda a transmissão de energia desde as subestações elevadoras até as subestações abaixadoras, ponto de fornecimento para as linhas de distribuição.

Esta metodologia de análise dos impactos ambientais serve como auxílio para tomadores de decisão, pois a partir dela são evidenciados danos tanto aos ecossistemas quanto à saúde dos seres humanos, que nem sempre, é contabilizado em métodos de AIA.

Os recursos naturais a cada dia que passa se tornam mais escassos e o custo em volta da expansão do setor energético cada vez mais dispendioso. Os impactos ambientais estão sendo significativos de tal modo que os atrasos em obras de linhas de transmissão são decorrentes ao não fornecimento das licenças ambientais. Como as leis vigentes atualmente possuem como foco a etapa de manufatura do bem ou serviço, esta avaliação torna-se incompleta não garantindo os danos que possam ser gerados pelo bem produzido em sua fase de operação e desativação. Assim, com a ACV, o processo de ciclo de vida como um todo do produto precisa ser menos danoso ao meio.

Por meio deste trabalho foi possível descrever diferentes tipos de impactos gerados no ciclo de vida de linhas de transmissão. Através da ACV obtém-se um auxílio para identificar quais os tipos de linhas em termos de nível de tensão, material usado na elaboração, afetaria menos a região de implantação, já que cada um possui suas peculiaridades.

Para o planejador de elaboração de linhas de transmissão é importante admitir que as atividades humanas modifiquem o meio ambiente, mas que é possível minimizar essas alterações, buscando a preservação dos ecossistemas e dos recursos naturais para as futuras gerações.

Para estudos futuros sugere-se que para realização da ACV seja escolhido um trecho específico de linha de transmissão, apenas um empreendimento, pois no Brasil as linhas acabam variando conforme seus níveis de tensão e dimensões e, pelo país ser formado por regiões heterogêneas, suas condições climáticas e geográficas podem diferir umas das outras. Algumas informações objetivas, específicas e relativas de cada obra só são possíveis de se adquirir estudando caso a caso, assim como buscar complementações com aferições em campo, coletando dados de forma quantitativa e qualitativa para composição do ICV. No Brasil ainda existe a dificuldade de obtenção de dados para composição do ICV, como visto neste trabalho, ainda não se tem bancos de dados grandes para que se obtenham resultados mais confiáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura – NBR ISO 14040**. Rio de Janeiro, 2001.

ACV BRASIL – AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA – BRASIL. **Avaliação do Ciclo de vida**. Disponível em: <http://www.acvbrasil.com.br/servicos/avaliacao-do-ciclo-de-vida-acv>. Acesso em: 19 out, 2017

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – **Campos Elétricos e Magnéticos**. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/campos-eletricos-e-magneticos1>. Brasília, 2016.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – **Acompanhamento Diferenciado da Expansão da Transmissão**. 3ed. 161p. – Brasília, 2018.

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA – IBICT. **O que é Avaliação do Ciclo de Vida?** Disponível em: <http://acv.ibict.br/acv/o-que-e-o-acv/>. Acesso em: 10 set,2019.

ABEPRO – Associação Brasileira de Engenharia de Produção. **Conceitos e Aplicações de ACV no Brasil**. XXVII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Foz do Iguaçu, PR. 09 a 11 de out. 2007. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2007_TR650481_0195.pdf. Acesso em: 10 set,2019.

ÂMBITO JURÍDICO. **A obrigatoriedade de estudos de impactos ambientais**. Disponível em: http://www.ambitojuridico.com.br/site/index.php?n_link=revista_artigos_leitura&artigo_id=10167&revista_caderno=5. Acesso em: 15 out, 2017.

ARANTES, Cíntia; CAMPOS, Gustavo Lobato; SANTOS, Mariana Guimarães; OLIVEIRA, Mario Luiz Rodrigues e NOBREGA, Rafael Vinicius Tayette. **Análise Conceitual de Linhas de Transmissão Operando em Regime Permanente Senoidal**. 2016.16f. For Science – Revista Científica do IFMG. Formiga – MG, Brasil, 2016.

BENOIST, Anthony. *Eléments d'adaptation de la méthodologie d'analyse de cycle de vie aux carburants végétaux : cas de la première génération*. 2009. 233f. THESE pour obtenir le grade de DOCTEUR DE L'ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DES MINES DE PARIS (Tese para obter o título de doutor da Escola Nacional Superior de Minas de Paris), França.

BORGES, Carmen Lucia Tancredo. *Análise de Sistemas de Potência*. Edição: Prof. Sergio Sami Hazan e Leonardo Ney A. Guerra. 2005. 143f. Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ – Departamento de Eletrotécnica, Rio de Janeiro, 2005.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução/conama/Nº001 de 23 de Janeiro de 1986**. Publicada no Diário Oficial da União, 1986. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=23>. Acesso em: 16 out, 2017.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução/conama/Nº006 de 16 de Setembro de 1987**. Publicada no Diário Oficial da União, 1987. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res87/res0687.html>. Acesso em: 16 out, 2017.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução Nº 237 , de 19 de dezembro de 1997**. Publicada no Diário Oficial da União, 1997. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=23>. Acesso em: 18 out, 2017.

CONCEITO.DE. **Conceito de processo de produção**. 2011. Disponível em: <https://conceito.de/processo-de-producao>. Acesso em: 09 set., 2019.

DEE – UFRJ – Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio de Janeiro. **Componentes de uma Linha de Transmissão**. Disponível em: http://www.dee.ufrj.br/~acsl/grad/transm/notas_de_aula/tree2.html. Acesso em: 02 out., 2019.

FERREIRA, Alexandre V. **Planejamento Energético e Meio Ambiente: A Importância da Avaliação do Ciclo de Vida das Fontes de Energia Elétrica no Ceará.** 2011. 72f. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

GIAROLA, Bernardo Nogueira. **Análise da influência de para-raios nas sobretensões atmosféricas por descarga direta em linhas de transmissão considerando a variação dos parâmetros do solo com a frequência.** 2016. 163f. Texto de dissertação de mestrado. Universidade Federal de São João Del-Rei – UFSJ, São João Del-Rei, 2016.

HÉMERY, Daniel, BEBIER, Jean C., DELÉAGE, Jean P. **Uma História da Energia.** Ed. Universidade, Brasília, 1993.

IBAMA – INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Licenças Ambientais.** Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/licencas-servicos/licenciamento-ambiental>. Acesso em: 16 out, 2017

IBICT - INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Histórico da ACV.** Disponível em: <http://acv.ibict.br/acv/historico-da-acv/>. Acesso em 10 set, 2019.

LUMUS ENGENHARIA – **Da geração ao consumidor final: Entenda o Sistema Elétrico de Potencia (SEP).** Disponível em: <http://lumusengenharia.com.br/blog/post/sistema-eletrico-brasileiro/>. Acesso em: 01out. 2019.

MATA NATIVA – **O que é EIA RIMA: Estudo e Relatório de Impacto Ambiental.** Disponível em: <http://www.matanativa.com.br/blog/o-que-e-eia-rima-estudo-e-relatorio-de-impacto-ambiental/>. Acesso em: 16 out, 2017.

MEADOWS, D.H. et al. **Limites do Crescimento**, Ed. Perspectiva, São Paulo, 1972.

MENEZES, Victor Prangiel de. **Linhas de Transmissão de Energia Elétrica: Aspectos Técnicos, Orçamentários e Construtivos.** 2015. 87f. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

OLIVEIRA, Renata Franciane de. ***Linhas de Transmissão***. 2009. 52f. Trabalho acadêmico. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Curitiba, 2009.

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico. Disponível em: <http://www.ons.org.br>. Acesso em: 27 set, 2019.

PINTO, Alberto Manuel da Silva. ***Análise e Mitigação do Ruído Acústico nas Linhas de Muito Alta Tensão da Rede Nacional de Transporte***. Dissertação no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores Major Energia. 2008. 109f. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto – Portugal, 2008.

PONTING, Clive. ***Uma História verde no mundo***. Ed Nobel, São Paulo, 1995.

PORTAL EDUCAÇÃO. ***O Clube de Roma – 1972***. Disponível em: <https://www.portaleducacao.com.br/conteudo/artigos/idiomas/o-clube-de-roma-1972/20122>. Acesso em: 10 set. 2019.

RAMOS, Leonardo; DURANTE, Luciane; CALLEJAS, Ivan. ***Geração de Eletricidade Abordando o Ciclo de Vida: Uma Revisão Sistemática sob Ótica da Sustentabilidade Ambiental***. Disponível em: <http://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/eng/article/view/4749/3185>. Acesso em: 06 out. 2017.

REIS, Lineu B. et al. ***Desenvolvimento de sistemas para mensuração de externalidades de projetos de LTs***. Disponível em: <http://www.mfap.com.br/pesquisa/arquivos/20090120083759-87%20site,%20nao%20lancado.pdf>. Acesso em: 31 jul. 2017.

RIBEIRO, Flávio M. ***Inventário de ciclo de vida da geração hidrelétrica no Brasil – Usina de Itaipu: primeira aproximação***. 2003. 456f. Dissertação de Mestrado - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

ROSSATO, Ivete de Fátima. ***Inventário do Ciclo de Vida do Processo de Fabricação Cerâmico***. ENSUS – ENCONTRO DE SUSTENTABILIDADE EM PROJETO DO VALE DO ITAJAÍ. 2009.

SANTOS, Nilton dos e GARCIA, Ricardo Wesley Salles. **Isoladores de Linhas de Transmissão do Sistema Elétrico Brasileiro: Parte II: Avaliação de Desempenho**. 2003. 6f. Uberlândia – MG, 2003.

SEBRAE-RJ – SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS – RIO DE JANEIRO. **Manual de Licenciamento Ambiental: Guia de procedimentos passo a passo**. 2004. 23f. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_pnla/_arquivos/cart_sebrae.pdf. Acesso em: 19 out, 2017

SENADO FEDERAL. **Conferência Rio-92 sobre o meio ambiente do planeta: desenvolvimento sustentável dos países**. Disponível em: <http://www.senado.gov.br/noticias/Jornal/emdiscussao/rio20/a-rio20/conferencia-rio-92-sobre-o-meio-ambiente-do-planeta-desenvolvimento-sustentavel-dos-paises.aspx>. Acesso em: 16 out, 2017.

TESSMER, Hélio. **Uma síntese histórica da evolução do consumo de energia pelo homem**. Disponível em: [http://www.liberato.com.br/sites/default/files/arquivos/Revista_SIER/v.%203,%20n.%203%20\(2002\)/8.%20UMA%20ABORDAGEM%20METODOLÓGICA%20DE%20BASE%20CIENTÍFICA%20NUM%20CONTEXTO.pdf](http://www.liberato.com.br/sites/default/files/arquivos/Revista_SIER/v.%203,%20n.%203%20(2002)/8.%20UMA%20ABORDAGEM%20METODOLÓGICA%20DE%20BASE%20CIENTÍFICA%20NUM%20CONTEXTO.pdf). Acesso em: 06 out. 2017.

VIANA, Maurício. **Aspectos Controversos da Legislação Ambiental para o Setor Elétrico**. 2008. 18f. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/atividade-legislativa/estudos-e-notas-tecnicas/publicacoes-da-consultoria-legislativa/areas-da-conle/tema14/2008-8493-Geraldo-Pudim.pdf>. Acesso em: 13 jun.2019.

WWF BRASIL. **O que é desenvolvimento sustentável?** Disponível em: https://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/questoes_ambientais/desenvolvimento_sustentavel/index.cfm_ Acesso em 15 out, 2017