



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA E INFLUÊNCIA DO TEMPO DE VIDA ÚTIL DOS
POSTES DE MADEIRA E DE CONCRETO DO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA

Hugo Henrique de Simone Souza

Salvador

2014



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA E INFLUÊNCIA DO TEMPO DE VIDA ÚTIL DOS
POSTES DE MADEIRA E DE CONCRETO DO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA

Hugo Henrique de Simone Souza

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da
Universidade Federal da Bahia como requisito
parcial para obtenção do título de Mestre em Meio
Ambiente, Águas e Saneamento.

Orientadora:

Karla Patricia S. Oliveira Rodriguez Esquerre

Coorientadora:

Ângela Maria Ferreira Lima

Salvador

2014

S729 Souza, Hugo Henrique de Simone.
Avaliação do ciclo de vida e influência do tempo de vida útil dos postes de madeira e de concreto do sistema de distribuição de energia elétrica / Hugo Henrique de Simone Souza. – Salvador, 2014.
158 f. : il. color.

Orientador: Profa. Karla Patrícia Santos Oliveira Rodriguez Esquerre.
Co-orientadora: Profa. Ângela Maria Ferreira Lima
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia. Escola Politécnica, 2014.

1. Postes de madeira. 2. Postes de concreto. 3. Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). 4. Impacto ambiental. I. Esquerre, Karla Santos Oliveira Rodriguez. II. Lima, Ângela Maria Ferreira. III. Universidade Federal da Bahia. IV. Título.

CDD: 624.18



Hugo Henrique de Simone Souza

Avaliação do ciclo de vida e influência do tempo de vida útil dos postes de madeira e de concreto do sistema de distribuição de energia elétrica

Banca Examinadora:

Profa. Dr. Karla Patrícia S. O. R. Esquerre Karla Patricia Oliveira Marques
Universidade Federal da Bahia

Profa. Ângela Maria Ferreira Lima Angela Maria Ferreira Lima
Universidade Federal da Bahia

Prof. Dr. Asher Kiperstok Asher Kiperstok
Universidade Federal da Bahia

Prof. Dr. José Adolfo de Almeida Neto José Adolfo de Almeida Neto
Universidade Estadual de Santa Cruz

Salvador
Fevereiro/2014

À vida, feita de sonhos inspirados no bem comum. Que a esperança seja chama sempre viva.

AGRADECIMENTO

Gostaria de primeiramente agradecer a Deus pela oportunidade de aprimoramento do conhecimento.

Meu profundo agradecimento aos meus pais Alcebíades Donatto de Souza e Sônia Aparecida Colombo de Simone Souza, pela ajuda e dedicação, a minha irmã Fabianna de Simone Souza pela presença fraterna em Salvador e a minha companheira Tamily Okumoto Macedo pela paciência e força.

Às orientadoras Karla Oliveira Esquerre e Ângela Ferreira Maria Lima pelo conhecimento compartilhado.

Aos professores Asher Kiperstok, Sandro Fábio César, Armando Tanimoto, Luciano Matos Queiroz e José Adolfo de Almeida Neto pelas recomendações que nortearam o estudo.

Ao sr. Paulo Venturoli pelo interesse no trabalho e grande contribuição.

Aos companheiros de pesquisa Diego Medeiros, Monique Nunes, Andressa Evangelista, Adelmo Menezes de Aguiar Filho, Yasmin Cruz, Lorena Oliveira, Bráullio Campos, Marcelo Andrade Santiago, Gabriela Moreira, Maria Coelho, Regiane de Oliveira Almeida, Thaís Lopes, Lindolfo Silveira, Rodrigo Lima e Henrique Leonardo Maranduba pelo apoio essencial.

Aos amigos Fernando Silva Bernardes, Igor Inforzato, Roberto do Araújo Bonfin, Cristiane Breda, tio Renato Luiz Nelli e tia Luzia Colombo Nelli pela assistência durante este período.

RESUMO

É necessário quantificar os impactos ambientais de diversos produtos e serviços para comparar alternativas e escolher aquela menos prejudicial ao meio ambiente. Para isso, destaca-se o instrumento de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). O objetivo deste trabalho foi analisar os potenciais impactos ambientais dos postes de madeira e de concreto do sistema de distribuição de energia elétrica considerando a variação do tempo de vida útil que estas estruturas estão sujeitas. A estimativa do tempo de vida útil foi realizada pelo método fatorial, de modo que foram identificados diversos fatores com potencial de influenciar a durabilidade dos postes. A ACV foi aplicada a partir do *software* Simapro, considerando todo o ciclo de vida dos postes, desde a extração de matérias primas até a disposição final. Para o inventário do ciclo de vida, foram considerados dados primários e secundários. Foi realizada a avaliação de impactos ambientais a partir dos métodos CML 2001 e ReCiPe *midpoint*. O estudo contou com a análise de incerteza através do método de Monte Carlo. Basicamente, os postes de madeira apresentaram menor potencial de impacto ambiental em relação aos postes de concreto para as categorias de acidificação, eutrofização, aquecimento global, depleção abiótica, ocupação urbana da terra, ecotoxicidade marinha e de água doce. Já para as categorias de ecotoxicidade terrestre, toxicidade humana e ocupação agrícola da terra este quadro se inverte. Foi realizada uma análise de sensibilidade com o propósito de verificar possíveis reduções nos impactos ambientais. Essa pesquisa contribuiu para alertar que a definição do valor de vida útil para determinados produtos, como os postes, pode influenciar os resultados da ACV. Ainda, quanto maior o tempo de vida útil, menor deve ser a carga ambiental do produto, afinal menos recursos serão necessários para substituí-lo. Os postes para suporte de redes aéreas são amplamente utilizados em todo o mundo, portanto, qualquer redução dos impactos ambientais gerados por estas estruturas pode trazer benefícios globais.

Palavras-chave: Postes de madeira, postes de concreto, avaliação do ciclo de vida, impactos ambientais.

ABSTRACT

It is necessary to quantify the environmental impacts of various products and services to compare alternatives and to choose those which are less harmful. For this, stands out the Life Cycle Assessment (LCA) evaluation tool. The objective of this study was to analyze the potentials environmental impacts of wood poles and concrete for the electricity distribution system considering the variability of the service lifetime that these structures are subjected. The estimate of service lifetime was made by factorial method, in this way, several potential factors were identified as influencing the durability of the utility poles. LCA was applied on the SimaPro software, considering the whole life cycle of the utilities poles, from the extraction of raw materials to final disposal. For the life cycle inventory, primary and secondary data were considered. The assessment of environmental impacts was performed considering the CML 2001 and Recipe midpoint methods. The study included the analysis of uncertainty by Monte Carlo method. Basically, the wooden poles had lower potential environmental impact in comparison to concrete poles for the categories of acidification, eutrophication, global warming, abiotic depletion, urban land occupation, marine ecotoxicity and freshwater ecotoxicity. On the other hand, for the categories of terrestrial ecotoxicity, human toxicity and agricultural land occupation this situation was reversed. A sensitivity analysis in order to verify possible reductions in environmental impacts was conducted. This research highlights the importance of having a well-defining of the value of service lifetime for certain products, such as the utility poles, used in LCA. In addition, the longer the service lifetime, lower should be the environmental burden due to the product, because fewer resources would be required to replace it. The use of utility poles as network supports is a practice widely used around the world, so any reduction of the environmental impacts generated by these structures can bring global benefits.

Keywords: Wood poles, concrete poles, life cycle assessment, environmental impacts.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Estrutura das redes elétricas de potência	22
Figura 02 – Proposta metodológica do cone invertido	44
Figura 03 – Concreto na base do poste de madeira	50
Figura 04 – Comparativo entre peças com aplicação de retratamento à base de boro e flúor e outro sem, após 3 anos	54
Figura 05 – Histograma dos valores de vida útil estimados para o poste de madeira.	60
Figura 06 – Histograma dos valores de vida útil estimados para o poste de concreto	60
Figura 07 – Fronteiras do sistema em estudo	65
Figura 08 – Produção de mudas de eucalipto	71
Figura 09 – Fluxograma da agricultura do eucalipto	71
Figura 10 – Etapas do processo produtivo dos postes de madeira	78
Figura 11 – Fluxograma da fabricação dos postes de madeira.....	78
Figura 12 – Extração das matérias primas para os postes de concreto.....	82
Figura 13 – Etapas do processo produtivo dos postes de concreto DT.	83
Figura 14 – Fluxograma da fabricação dos postes de concreto.....	84
Figura 15 – Potencial de acidificação do ciclo de vida dos postes	121
Figura 16 – Potencial de eutrofização do ciclo de vida dos postes para o método CML 2001.....	122
Figura 17 – Potencial de eutrofização do ciclo de vida dos postes para o método ReCiPe.....	123
Figura 18 – Potencial de aquecimento global do ciclo de vida dos postes.....	124
Figura 19 – Potencial de toxicidade humana do ciclo de vida dos postes.....	125
Figura 20 – Potencial de ecotoxicidade marinha do ciclo de vida dos postes	126
Figura 21 – Potencial de ecotoxicidade de água doce do ciclo de vida dos postes	127
Figura 22 – Potencial de ecotoxicidade terrestre do ciclo de vida dos postes	127
Figura 23 – Potencial de depleção abiótica do ciclo de vida dos postes para o método CML 2001	128
Figura 24 – Potencial de depleção abiótica do ciclo de vida dos postes para o método ReCiPe	129

Figura 25 – Potencial de uso da terra do ciclo de vida dos postes para o método ReCiPe.....	130
Figura 26 – Potenciais impactos ambientais dos postes normalizados para o método CML 2001.....	132
Figura 27 – Potenciais impactos ambientais dos postes normalizados para o método ReCiPe.....	133
Figura 28 – Incerteza dos impactos ambientais dos postes para o método CML 2001	134
Figura 29 – Incerteza dos impactos ambientais dos postes para o método ReCiPe	135
Figura 30 – Principais influências nos impactos ambientais dos postes pela variação da retenção de CCA-C (CML 2001).	138
Figura 31 – Principais influências nos impactos ambientais dos postes pela mudança na destinação final do resíduo de concreto (CML 2001).	140
Figura 32 – Influências nos impactos ambientais dos postes pela variação do tempo de vida útil (CML 2001).	142

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Valores de desvio dos fatores em relação à condição de referência	41
Tabela 02 – Índices aplicáveis ao Fator A1	47
Tabela 03 – Índices aplicáveis ao Fator A2.....	48
Tabela 04 – Índices aplicáveis ao Fator A3.....	48
Tabela 05 – Índices aplicáveis ao Fator B1	49
Tabela 06 – Índices aplicáveis ao Fator B2.....	49
Tabela 07 – Índices aplicáveis ao Fator B3.....	50
Tabela 08 – Índices aplicáveis ao Fator C1	50
Tabela 09 – Índices aplicáveis ao Fator C2	51
Tabela 10 – Índices aplicáveis ao Fator E1	51
Tabela 11 – Índices aplicáveis ao Fator E2.....	52
Tabela 12 – Índices aplicáveis ao Fator E3.....	52
Tabela 13 – Índices aplicáveis ao Fator E4.....	52
Tabela 14 – Índices aplicáveis ao Fator E5	53
Tabela 15 – Índices aplicáveis ao Fator E6.....	53
Tabela 16 – Índices aplicáveis ao Fator F1	53
Tabela 17 – Índices aplicáveis ao Fator F2.....	53
Tabela 18 – Índices aplicáveis ao Fator G1	54
Tabela 19 – Índices aplicáveis ao Fator G2	55
Tabela 20 – Índices aplicáveis ao Fator A1	55
Tabela 21 – Índices aplicáveis ao Fator A2.....	55
Tabela 22 – Índices aplicáveis ao Fator A3.....	56
Tabela 23 – Índices aplicáveis ao Fator B1	57
Tabela 24 – Índices aplicáveis ao Fator B2.....	57
Tabela 25 – Materiais transportados na etapa de cultivo de eucalipto.....	87
Tabela 26 – Materiais transportados na fabricação dos postes de madeira	87
Tabela 27 – Materiais transportados na fabricação dos postes de concreto.....	88
Tabela 28 – Transporte dos postes na etapa de uso e manutenção.....	89
Tabela 29 – Inventário da produção de mudas de eucalipto	97
Tabela 30 – Inventário do cultivo e corte de eucalipto por nove anos.....	101
Tabela 31 – Inventário da produção dos postes de madeira.....	105

Tabela 32 – Inventário da obtenção de areia	108
Tabela 33 – Inventário da obtenção de agregado	109
Tabela 34 – Inventário da produção de cimento portland	110
Tabela 35 – Inventário da produção de clínquer	112
Tabela 36 – Inventário da produção de blend de cimento.....	113
Tabela 37 – Inventário da produção de calcita.....	115
Tabela 38 – Inventário da produção de gipsita.....	116
Tabela 39 – Inventário da produção dos postes de concreto	118

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 – Matriz de qualidade dos dados (matriz pedigree).....	92
Quadro 02 - Fatores básicos de incerteza (sem dimensão).....	94

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
AIA	Avaliação de Impactos Ambientais
ANEEL	Agencia Nacional de Energia Elétrica
CML	Center for Environmental Science
COELBA	Concessionária de Energia Elétrica da Bahia
COVNM	Compostos Orgânicos Voláteis-Não Metano
COVs	Compostos Orgânicos Voláteis
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DT	Duplo T
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EUA	Estados Unidos da América
GAMA	Growing with Applied Multivariate Analysis
HPA	Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
ICV	Inventário do Ciclo de Vida
IFBA	Instituto Federal da Bahia
IMA	Incremento Médio Anual
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ISO	International Organization for Standardization
LCA	Life Cycle Assessment
MP	Material Particulado
NBR	Norma Brasileira
NPK	Nitrogênio Fósforo Potássio
OD	Oxigênio Dissolvido
PVA	Acetato de Polivinila
RD	Rede de Distribuição
SETAC	Society of Environmental Toxicology and Chemistry
TECLIM	Rede de Tecnologias Limpas
TV	Televisão
UB	Uncertainty Basic
UESC	Universidade Estadual de Santa Cruz
UF	Unidade Funcional
UFBA	Universidade Federal da Bahia
UNEP	United Nations Environment Programme
USLCI	United States Life Cycle Inventory
VUE	Vida Útil Estimada
VUR	Vida Útil de Referência

SUMÁRIO

1.	CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO	17
1.1.	Caracterização do problema	17
1.2.	Justificativa	19
1.3.	Objetivos	20
1.3.1.	Objetivo geral	20
1.3.2.	Objetivos específicos	20
1.4.	Estrutura da dissertação	21
2.	CAPÍTULO II - REVISÃO DA LITERATURA	22
2.1.	Postes do sistema de distribuição de energia elétrica	22
2.1.1.	Poste de madeira	23
2.1.1.1	Eucalipto	26
2.1.1.2	Florestas plantadas.....	28
2.1.2.	Poste de concreto	30
2.2.	Avaliação do ciclo de vida	32
2.2.1.	Metodologia da ACV	33
2.2.2.	Definição do objetivo e escopo	33
2.2.3.	Análise do inventário do ciclo de vida	34
2.2.4.	Avaliação de impactos ambientais	34
2.2.5.	Interpretação de resultados.....	36
2.2.6.	Dificuldades da ACV	36
2.3.	Estudos realizados anteriormente	37
2.4.	Estimativa do tempo de vida útil – Método fatorial	39
3.	CAPÍTULO III - MATERIAL E MÉTODOS.....	42
3.1.	Melhoria contínua da informação – Cone invertido	43
4.	CAPÍTULO V - APLICAÇÃO DO MÉTODO FATORIAL.....	45
4.1.	Estimativa de vida útil – postes de madeira	47
4.1.1.	Fator A - Qualidade do produto	47
4.1.2.	Fator B - Nível de qualidade do produto.....	48
4.1.3.	Fator C - Nível de qualidade da execução	50
4.1.4.	Fator D - Características do ambiente interior.....	51
4.1.5.	Fator E - Características do ambiente exterior.....	51

4.1.6.	Fator F - Características do uso	53
4.1.7.	Fator G - Nível de manutenção	54
4.2.	Estimativa de vida útil – postes de concreto	55
4.2.1.	Fator A - Qualidade do produto	55
4.2.2.	Fator B - Nível de qualidade do produto.....	56
4.2.3.	Fator C - Nível de qualidade da execução	57
4.2.4.	Fator D - Características do ambiente interior.....	58
4.2.5.	Fator E - Características do ambiente exterior	58
4.2.6.	Fator F - Características do uso	58
4.2.7.	Fator G - Nível de manutenção	58
4.2.8.	Resultados do método fatorial.....	58
5.	CAPÍTULO IV - AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA DOS POSTES	62
5.1.	Definição do objetivo e escopo da ACV	62
5.2.	Função e unidade funcional	62
5.3.	Fronteira do sistema.....	63
5.4.	Procedimento de alocação.....	66
5.5.	Método de avaliação de impacto ambiental e categorias de impacto ambiental.....	67
5.6.	Pressupostos e escolha de valores.....	69
5.7.	Requisitos da qualidade dos dados	69
5.8.	Caracterização dos sistemas	70
5.8.1.	Extração de matérias primas – postes de madeira	70
5.8.2.	Produção – postes de madeira	77
5.8.3.	Extração de matérias primas – postes de concreto	81
5.8.4.	Produção - postes de concreto	82
5.8.5.	Transporte.....	86
5.8.6.	Uso e manutenção	88
5.8.7.	Disposição final	89
5.9.	Incerteza da informação.....	90
5.9.1.	Matriz de qualidade dos dados (matriz pedigree)	91
5.9.2.	Análise de sensibilidade.....	95
5.10.	Resultados da ACV - Inventário do ciclo de vida	96
5.10.1.	Postes de madeira	96
5.10.2.	Postes de concreto.....	107

5.11.	Resultados da ACV - Avaliação de impactos ambientais.....	120
5.11.1.	Caracterização	120
5.11.1.1.	Potencial de acidificação.....	120
5.11.1.2.	Potencial de eutrofização	121
5.11.1.3.	Potencial de aquecimento global	123
5.11.1.4.	Potencial de toxicidade humana	125
5.11.1.5.	Potencial de ecotoxicidade	126
5.11.1.6.	Potencial de depleção abiótica.....	128
5.11.1.7.	Potencial de ocupação da terra.....	130
5.11.2.	Normalização	131
5.12.	Interpretação de resultados e discussão.....	134
5.12.1.	Análise de incerteza	134
5.12.2.	Análise de sensibilidade.....	136
5.12.2.1.	Retenção de CCA-C	137
5.12.2.2.	Destinação final do concreto	139
5.12.2.3.	Tempo de vida útil.....	141
5.12.2.4.	Outras análises realizadas.....	143
6.	CAPÍTULO VI – CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS	145
6.1.	Conclusão	145
6.2.	Dificuldades encontradas	146
6.3.	Sugestões de continuidade	146
6.4.	Publicações associadas a esta dissertação	147
6.4.1.	Publicadas.....	147
6.4.2.	Em andamento.....	147
6.5.	Referências bibliográficas	148
6.6.	ANEXO	156
6.7.	APÊNDICE A – Rede de contribuição dos processos	157

1. CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO

1.1. Caracterização do problema

A utilização de postes como suporte para redes de distribuição de energia elétrica aérea é uma prática amplamente consagrada em todo o mundo. Onde há consumidores que compram energia elétrica existe uma rede de distribuição responsável pelo serviço de entrega dessa energia comprada (YOKOTE, 2003).

Diante da evidente demanda dos postes e da busca que vivemos atualmente para reduzir os impactos ambientais de qualquer tipo de produto ou processo, destaca-se a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), normatizada pela série ISO 14040, como ferramenta de apoio para mudar o consumo e os padrões de produção insustentáveis.

Cada produto tem uma “vida”, começando com o projeto e desenvolvimento, seguido pela extração de recursos, a produção (de materiais), o uso ou consumo, e, finalmente, o final da vida útil (envolvendo atividades de coleta, triagem, reutilização, reciclagem ou tratamento de resíduos). Na realização de uma ACV, as atividades ou processos resultantes em impactos ambientais devido ao consumo de recursos, emissões de substâncias para o ambiente natural, e outros tipos, devem ser bem detalhadas (REBITZER, 2004). Com isso, é possível comparar produtos semelhantes ou de diferentes matérias-primas, a fim de facilitar a escolha daquele que menos influencia negativamente o meio ambiente.

Dentre os materiais mais utilizados na fabricação dos postes encontram-se a madeira e o concreto. No Brasil, os postes de concreto apresentam a vantagem de ter uma duração maior, enquanto os postes de madeira de eucalipto preservado custam menos que os outros materiais (ANEEL, 2000).

Todas as estruturas, independente do material (madeira, aço ou concreto) estão sujeitas a um processo de degradação natural devido ao uso e ao meio em que esta estrutura se encontra. Ao longo do tempo, este processo proporciona um decréscimo nas propriedades da estrutura, comprometendo o seu nível de

rendimento, serventia e segurança. O período em que a estrutura está apta a desenvolver sua função é caracterizado como tempo de vida útil ou durabilidade (FREITAS, 2009).

Os estudos de ACV geralmente se deparam com a necessidade de atribuir valores de vida útil para os produtos analisados durante a definição da unidade funcional. É importante a consideração deste parâmetro para que seja realizada uma comparação precisa entre diferentes alternativas.

Ainda, a ampliação da vida útil de componentes é uma forma efetiva de redução do impacto ambiental, já que, quando há necessidade de substituição desses componentes, um novo produto deverá ser instalado, demandando mais recursos para sua obtenção. Além disso, essas substituições geram altos custos para as concessionárias responsáveis pelo fornecimento de energia, mostrando que além da influência no aspecto ambiental, a vida útil dos bens também tem influência econômica. Por esses e outros motivos, quanto maior a vida útil dos equipamentos, mais benefícios são proporcionados.

É importante ressaltar que as falhas nos postes muitas vezes resultam em interrupções no fornecimento de energia elétrica, além de representar riscos à segurança de trabalhadores do setor e da população em geral (VIDOR, 2011).

Diante deste contexto, este estudo se propõe a identificar os impactos ambientais relacionados aos postes do sistema de distribuição de energia elétrica, bem como relacionar a alteração destes impactos diante das variações de tempo de vida útil que estes equipamentos estão sujeitos. A pesquisa foi realizada através do Programa de Mestrado em Meio Ambiente, Águas e Saneamento da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia.

1.2. Justificativa

Cada vez mais consumidores institucionais e individuais querem entender o mundo por trás dos produtos que compram. Eles buscam por respostas às suas dúvidas, relacionadas às três linhas da sustentabilidade: social, ambiental e econômica. Compreender, quantificar e comunicar a sustentabilidade de produtos é parte da solução para a redução contínua de seus impactos e consequente aumento de benefícios para a sociedade (UNEP, 2011).

Apesar da existência de estudos nessa área principalmente na Europa e América do Norte, a aplicação da metodologia da ACV para os postes no Brasil é alvo apenas de estudos recentes. No início as escolhas dos equipamentos eram baseadas na avaliação do desempenho econômico de diferentes produtos bem como no planejamento da manutenção. Com o paradigma do desenvolvimento sustentável, este quadro ganha novas dimensões, representadas pelos aspectos ambientais e sociais relacionados aos produtos.

Muitas vezes na produção do componente é que se causa a maior carga ambiental e a vida útil pode ser aumentada ou diminuída sem afetar proporcionalmente as cargas ambientais (JOHN *et al.*, 2001). Para os postes de madeira, por exemplo, as operações silviculturais (desbaste, desrama e espaçamento) das árvores que serão transformadas em postes, são práticas essenciais que determinarão a qualidade da madeira (EMBRAPA, 2003). Com isso, entre outras práticas, o manejo correto pode afetar consideravelmente a vida útil do produto final.

A determinação do valor da vida útil de determinados equipamentos é imprescindível durante a execução de uma avaliação do ciclo de vida. Por isso, quanto mais próximo da realidade se encontrar este valor, mais representativa será a ACV.

1.3. Objetivos

Este trabalho propõe-se a responder à seguinte pergunta:
Qual tecnologia de postes do sistema de distribuição de energia elétrica gera menos impactos ambientais, considerando o tempo de vida útil?

1.3.1. Objetivo geral

Analisar os impactos ambientais dos postes de madeira e de concreto do sistema de distribuição de energia elétrica de acordo com a variação do tempo de vida útil.

1.3.2. Objetivos específicos

- Elaborar o inventário de ciclo de vida dos subsistemas envolvidos;
- Estimar a variabilidade do tempo de vida útil dos postes;
- Comparar os impactos ambientais das alternativas;
- Realizar análise de sensibilidade para a variação da vida útil dos postes.

1.4. Estrutura da dissertação

Este trabalho está dividido em sete capítulos. O capítulo I contextualiza o tema, caracterizando o problema de pesquisa, justificando e definindo os objetivos do estudo.

O capítulo II apresenta uma revisão de literatura que serviu de base para o desenvolvimento do trabalho, oferecendo a sustentação teórica necessária para uma melhor compreensão da pesquisa.

O capítulo III expõe os materiais e métodos, de maneira a detalhar os caminhos percorridos para a realização da pesquisa.

O capítulo IV diz respeito à aplicação da metodologia de estimativa de vida útil (método fatorial) para os postes, com seus resultados também apresentados no mesmo capítulo.

O capítulo V se refere à aplicação da ACV para os postes, descrevendo os processos que envolvem o ciclo de vida dos postes de madeira e de concreto do sistema de distribuição de energia elétrica, desde a extração de matérias primas, produção, uso, reuso e disposição final, bem como analisa os resultados obtidos com a coleta e tratamento de dados através do software SimaPro.

O capítulo VI apresenta a conclusão da pesquisa, em que são relacionados os resultados dos capítulos IV e V. Neste também estão apresentadas as considerações finais, descrevendo as dificuldades encontradas, sugestões de continuidade, publicações associadas a esta dissertação e referências bibliográficas.

2. CAPÍTULO II - REVISÃO DA LITERATURA

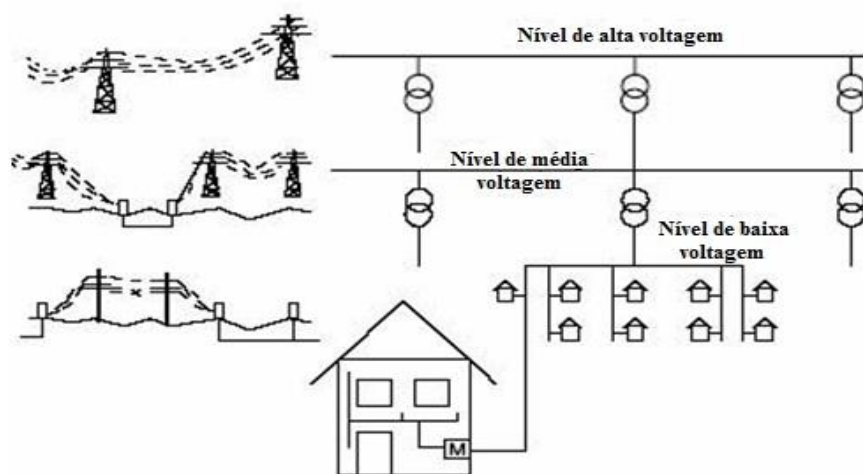
Este capítulo busca discutir sobre os impactos ambientais dos postes e as ferramentas utilizadas no estudo.

2.1. Postes do sistema de distribuição de energia elétrica

A energia elétrica é parte integrante da vida moderna e indispensável ao progresso econômico, contribuindo para a satisfação das necessidades e desejos dos consumidores, possibilitando-lhes uma enorme variedade de serviços que gera uma demanda cada vez maior deste recurso.

O sistema de distribuição de energia elétrica é caracterizado por níveis de tensão abaixo de 34,5 kV, constituído por redes primárias (13,8 a 34,5 kV), secundárias (inferior a 2,3 kV) e subestações (responsáveis pelo abaixamento da tensão de transmissão para a distribuição). O sistema de média tensão (redes primárias) tem a função básica de transportar energia elétrica oriunda do sistema de transmissão até o sistema de distribuição de baixa tensão (redes secundárias), conforme ilustrado na Figura 01.

Figura 01 – Estrutura das redes elétricas de potência



Fonte: Adaptado de Hrasnica *et al.* (2004).

Os postes e torres aplicados no sistema de distribuição são elementos indispensáveis na construção de linhas aéreas, podendo ser de madeira, concreto armado ou metal, de acordo com a importância do circuito e a situação operativa da linha (ANEEL, 2000).

Existem as redes subterrâneas principalmente nos centros comerciais, mas que em ordem de grandeza de dimensão quando comparadas com redes aéreas são irrelevantes (YOKOTE, 2003). As redes aéreas no Brasil representam aproximadamente 99% do total instalado, principalmente pelo fato de que as redes subterrâneas ainda são muito onerosas (GRANATA, 2001).

2.1.1. Poste de madeira

Segundo registros históricos, a primeira utilização de postes de madeira data da década de 30 do século XIX, quando o telégrafo começou a ser utilizado. No Brasil, os postes começaram a ser utilizados já no final deste mesmo século. Mesmo com relativa abundância de madeiras nativas, há registros que relatam a utilização do eucalipto para postes em 1905. Para linhas telefônicas, postes de *Eucalyptus longifolia* foram utilizados pela primeira vez em 1916, no estado de São Paulo. A utilização da madeira de eucalipto se deveu a três fatores principais: disponibilidade da matéria-prima, relativa escassez de outras essências florestais e crescente demanda por postes, devido à expansão do telégrafo, telefone e energia elétrica (GERALDO, 2001).

Mesmo países pobres em florestas e ricos em cimento e ferro, como a Inglaterra, preferem utilizar postes de madeira tratada devido à economia que proporcionam na construção de redes rurais de energia. Nos Estados Unidos, a grande maioria dos postes são de madeira tratada, utilizados na distribuição de energia para tensões até 34,5 kV e na rede de telefonia (GERALDO, 2001).

Segundo Sandoz & Benoit (2005) *apud* Vidor (2011), é estimada uma proporção de um poste de madeira para cada dois habitantes na Europa Ocidental. No estado canadense de Ontário, somente nas redes de distribuição de energia elétrica, são mais de 2 milhões de postes de madeira em serviço. No Brasil, o estado do Rio

Grande do Sul se caracteriza pelo uso mais intensivo deste tipo material em postes, principalmente nas redes de baixa tensão e média tensão. Nas linhas de potência superior, a utilização das torres metálicas se sobressai, assim como as de concreto, em alguns casos. O poste de madeira também vem tendo seu uso consorciado com as empresas de telecomunicações para o suporte das redes de telefonia e, mais recentemente, para as redes de TV a cabo ou mesmo para cabos de fibra ótica.

Segundo Geraldo (2001) o poste de madeira ganha destaque pelo seu custo competitivo, além da facilidade de manuseio e de manutenção que fazem dele uma ferramenta com importante papel principalmente na eletrificação rural. Ainda, Sedjo (2001) destaca os materiais de madeira por demandarem relativamente pouca energia na sua produção, e durante o crescimento das florestas ocorre a captura de carbono da atmosfera.

Por outro lado, o fato da madeira ser um material de origem biológica, encontra-se sujeito à deterioração. No ambiente terrestre, os fungos, as bactérias e os insetos são os principais agentes biológicos que destroem a madeira (FERRARINI, 2012).

Este intenso processo de degradação se dá em todo o comprimento do poste de madeira. Porém, é na chamada região de afloramento, que os postes estão submetidos a uma soma de fatores, que possibilita uma maior velocidade de degradação nesta região, sendo eles: umidade, insetos, fungos, vegetação, excremento de animais e *Weathering* (efeitos provocados pela ação conjunta da luz, umidade, temperatura e oxigênio) (FREITAS, 2009).

Para combater este problema, visando aumentar a resistência da madeira, são utilizados tratamentos preservativos que têm como princípio básico o uso de substâncias tóxicas aos organismos causadores de tais danos. Existem diversos tipos de preservativos de madeira, divididos em duas categorias (FREITAS, 2009):

a) Oleossolúveis – produtos contendo misturas complexas de agentes fungicidas e inseticidas, à base de compostos de natureza orgânica e/ou organometálica. Os principais representantes desta categoria são o Creosoto (utilização proibida em habitações humanas) e o Pentaclorofenol (fabricação e comercialização proibida pelo IBAMA devido à alta toxicidade).

b) Hidrossolúveis – produtos contendo misturas complexas de sais metálicos, tais como boro, compostos de arsênico, cromo, cobre, zinco e fluoreto. Os

principais representantes desta categoria são o CCA (arseniato de cobre cromatado) tipos A, B e C (em função da proporção entre os seus ingredientes ativos), e o CCB (borato de cobre cromatado), que surgiu para substituir o CCA devido a críticas quanto à utilização do arsênio, porém apresenta menor eficiência no tratamento.

A eficiência dos tipos de tratamentos de madeira é variável. Estudos apontam para uma taxa de durabilidade maior nos postes tratados com creosoto em relação aos tratados com CCA (VIDOR, 2011). Porém, na seleção do tipo de preservativo de madeira, não é só este fator que deve ser levado em consideração. É importante que seja analisado também o impacto ao meio ambiente, a disponibilidade no mercado brasileiro e a higiene e segurança que este oferece.

O tratamento sob pressão a base de óxidos de Cobre, Cromo e Arsênio - CCA, classificado como tipo C, é amplamente utilizado para tratar postes no Brasil, por diversos motivos, dentro os quais, as restrições de uso dos demais tipos de tratamentos. Este, recebe esta classificação (tipo C), pois a camada permeável (alburno) é impregnada com preservativo nas seguintes proporções (ABNT, 1984):

- a) Cromo hexavalente, calculado como CrO_3 47,5%;
- b) Cobre calculado com CuO 18,5%;
- c) Arsênio calculado como As_2O_5 34,0%.

O CCA tipo C é o mais usado atualmente por apresentar maior resistência à lixiviação e melhor desempenho no campo (AMARAL, 2012). Sua fixação ocorre a partir da redução do cromo hexavalente a trivalente e a subsequente adsorção de cromo, cobre, e complexos de arsênio nos substratos da madeira. Esse processo pode ocorrer dentro de minutos ou horas, e ser completado durante os dias ou semanas subsequente. O período de tempo necessário para a fixação depende basicamente da temperatura e umidade relativa do ar. Quanto mais alta a temperatura, mais rapidamente a fixação ocorre. Após o período de fixação o CCA torna-se virtualmente insolúvel (APPEL, 2006).

Para uma maior velocidade de degradação, sem sombra de dúvidas a presença de umidade local possui forte influência. Desta forma, ações devem ser tomadas para que seja minimizada a presença de umidade e concentração de água na região do afloramento. Como exemplo de tais ações tem-se o tratamento impermeabilizante no

momento da fabricação do poste, e a execução de colarinhos de concreto de baixa permeabilidade quando necessário, no momento da instalação do mesmo (FREITAS, 2009).

Ainda, para evitar este tipo de degradação, existem alguns tratamentos curativos (retratamento), que diferem dos tratamentos preservativos, pois a aplicação dos produtos é feita no poste em serviço e se restringe à chamada faixa crítica de deterioração (desde cerca de 20 cm acima da linha de afloramento do poste até no máximo 50 cm abaixo). Os produtos utilizados também são outros, sendo comumente encontrados a base de Boro e Flúor (VIDOR, 2011).

Estudos apontam que a utilização do CCA em postes de madeira gera lixiviação decorrente da ação de intempéries, acarretando riscos à saúde humana e ao meio ambiente (FERRARINI, 2012). Em alguns países, como por exemplo, no Reino Unido surgiram diversas restrições na legislação quanto a uso dessa substância (MERCER, 2012).

2.1.1.1. Eucalipto

O eucalipto é uma espécie arbórea pertencente à família das Mirtáceas e nativas, principalmente, da Austrália. São mais de 670 espécies conhecidas apropriadas para cada finalidade de aplicação da madeira. No Brasil, seu cultivo em escala econômica deu-se a partir de 1904, para atender a demanda da Companhia Paulista de Estradas de Ferro. Mais precisamente a partir de 1965, com a lei dos incentivos fiscais ao reflorestamento, seu cultivo no Brasil ganhou destaque entre outras culturas (VALVERDE, 2007).

A norma brasileira ABNT NBR 8456 (1984) – Postes de Eucalipto Preservado Para Redes de Distribuição de Energia Elétrica – descreve as seguintes espécies de eucalipto para produção de postes de madeira: *Eucalyptus alba*, *E. botryoides*, *Corymbia citriodora* (Ex *Eucalyptus citriodora*), *E. grandis*, *E. paniculata*, *E. rostrata*, *E. saligna* e *E. tereticornis*.

As propriedades da madeira de tal gênero apresentam variações tanto da medula para a casca quanto da base para o topo das árvores. Sendo assim, o conhecimento dessas variações e de suas intensidades pode ser de grande relevância para se definir a melhor forma de processamento da madeira, minimizando seus defeitos e aumentando o rendimento do produto serrado (CRUZ, 2003).

Para a produção de sólidos (madeiras cuja finalidade não seja para papel e celulose), as características desejáveis são a forma de fuste, o crescimento em diâmetro e altura associado à baixo percentual de rachaduras do tronco e empenamento da madeira serrada (FILHO, 2004). A idade das árvores também contribui para modificar as características da madeira, influenciando na quantificação do volume, na forma da árvore e no diâmetro à altura do peito (GONÇALVES, 2006).

Atualmente, há grande demanda por parte dos produtores rurais de mudas clonais. A muda clonal ou clone é uma muda feita por propagação vegetativa (estaquia) e tem como principais vantagens a uniformidade do desenvolvimento e da qualidade da madeira, principalmente para o mercado de celulose e papel, chapas de fibras e de carvão vegetal, e adequados às suas regiões de produção. Os clones popularmente chamados de “urograndis” produzem madeira de baixa densidade, sendo pouco adequados para a produção de postes e mourões. Nesses casos, há necessidade do uso de mudas produzidas por sementes (WILCKEN, 2008).

A silvicultura, assim como culturas agrícolas de cultivo intensivo e extensivo, é alvo de discussão sobre seus impactos no meio ambiente e, no caso dos plantios do gênero *Eucalyptus*, os questionamentos ocorrem principalmente sobre seus impactos nos recursos hídricos (LIMA, 2006 *apud* LEYTON, 2008).

De acordo com Valverde (2007), o eucalipto sob o aspecto ambiental, gera uma diminuição na pressão sobre as florestas nativas, abrigo para a fauna, proteção das águas e dos solos, melhoria da qualidade do ar, recuperação de áreas degradadas, contribuição para a mitigação do efeito estufa e outros benefícios.

Um dos fatores que interferem no crescimento do eucalipto é a condição de solo onde é plantado. Geralmente é necessária sua correção com a aplicação de fertilizantes (EMBRAPA, 2003).

Cada cultura apresenta necessidades nutricionais e racionalidades econômicas diferenciadas, que implicam em diferentes intensidades de uso de fertilizantes. A

utilização de fertilizantes nitrogenados é apontada como o principal motivo do aumento global das emissões de óxido nitroso (N₂O) por solos agrícolas. No Brasil, entretanto, a principal fonte de emissões são os dejetos de animais em pastagem (IBGE, 2010).

Os nutrientes que são frequentemente utilizados nas adubações de espécies florestais são o nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K). A formulação do fertilizante varia de região para região. De maneira geral, na atividade florestal, o fósforo é colocado em maior quantidade que os outros elementos, por ser normalmente aquele presente em menor concentração no solo (EMBRAPA, 2003).

2.1.1.2. Florestas plantadas

Com a política de incentivos fiscais ao reflorestamento, que vigorou de 1965 a 1988, ocorreu um crescimento significativo da área reflorestada no país. Os gêneros florestais que mais se destacaram foram Pinus e Eucalyptus, devido às características: rápido crescimento, boa qualidade da madeira, adaptabilidade ao clima e ao solo das regiões sul e sudeste, entre outras. (VALVERDE, 2009).

As florestas naturais são tradicionalmente valorizadas pela sua madeira. No entanto, as florestas estão ameaçadas por práticas de manejo florestal insustentável que resultam em uma variedade de impactos negativos (VARELLA, 2009). O desflorestamento das florestas tropicais é um dos principais problemas ambientais que enfrenta o mundo (IPCC, 2006).

O desmatamento decorrente da conversão de matas nativas para áreas de cultivo ou pecuária tem alterado a geografia de algumas regiões do planeta. A maioria dos países já destruiu quase toda a sua cobertura florestal original e muitos dos que ainda a possuem, enfrentam graves problemas de falta de práticas sustentáveis de exploração desses recursos. Além de agravar o efeito estufa e a chuva ácida, esse processo interfere no equilíbrio e na composição da fauna e da flora locais e contribui para a poluição da água e do ar. A remoção da vegetação que cobre o solo conduz ao aumento da vulnerabilidade à erosão e à redução das chuvas, decorrente

da menor devolução de água para a atmosfera através da evapotranspiração, podendo acarretar a desertificação ou empobrecimento do solo de uma determinada região (SALLES, 2009).

A cada ano que passa aumenta a preocupação com o acúmulo de gases de efeito estufa na atmosfera, contribuindo com o aquecimento global. Segundo IPCC (2006), o dióxido de carbono é o mais importante gás de efeito estufa provocado pelas atividades humanas (em termos de quantidade emitida). No âmbito global, a principal atividade geradora desse gás é a queima de combustíveis fósseis, e no Brasil, esta posição é ocupada pelo desmatamento (principalmente pela pecuária). No entanto, este quadro é reversível a partir da expansão dos sistemas biológicos, em particular das florestas, através do sequestro de carbono da atmosfera, principalmente durante seu crescimento.

Em termos globais, a existência de atividades dependentes de fornecimento contínuo de madeira, implica no plantio de espécies florestais. Esse cultivo contínuo ao longo dos anos representará a formação de um estoque renovável, porém permanente, de carbono (sequestro). Isso porque as árvores durante o seu crescimento vão fixando o gás carbônico da atmosfera. Entretanto, é possível questionar a viabilidade de se promover o plantio de eucalipto com um propósito ambiental, como o de conter o efeito estufa, quando se analisa a questão de uma forma mais ampla, a partir dos impactos causados pelas grandes monoculturas florestais no meio ambiente (solo, água, flora e fauna) e nas comunidades locais (EUCALIPTO, 2004).

A simplicidade biológica própria da monocultura quando comparada à diversidade e riqueza de uma floresta nativa é flagrante. Isso sugere que a substituição de florestas nativas por plantações florestais a título de reflorestamento seja um equívoco, em termos ambientais, sociais e até econômicos, em face dos diversos bens materiais e imateriais (paisagem, fármacos, fitoterápicos, potencial genético, contato com a natureza, lazer) fornecidos pelas matas naturais. Sob esse aspecto, a cultura do eucalipto provoca prejuízos ambientais. Em contrapartida, o plantio de eucalipto em áreas degradadas pelo uso agropecuário intenso (pastos degradados, áreas erodidas ou desertificadas), ou mesmo pela atividade minerária, representa um fator de recomposição de solo e melhoria da sua permeabilidade, criação de

ambiente ameno para instalação de outras espécies, além de outros benefícios como a geração de emprego e renda (EUCALIPTO, 2004).

2.1.2. Poste de concreto

Os postes de concreto são amplamente utilizados no Brasil, ganhando destaque pela vida útil elevada, manutenção praticamente nula e por serem prontamente fornecidos em tamanhos específicos. Os principais modelos utilizados são os postes de seção circular vazada, de conformação tronco-cônica, produzidos por vibração ou por centrifugação, e os postes de seção Duplo T (DT), que possuem a seção em “H” e a conformação tronco-piramidal.

O concreto utilizado é uma mistura de agregado graúdo (brita), areia, cimento portland e água, podendo ainda ser aditivado. Para a estruturação dos postes utiliza-se armadura de aço, que deve ser compatível com o esforço nominal.

Alguns impactos ambientais dos postes de concreto estão relacionados à etapa de extração e produção de matérias-primas (não-renováveis). No caso da produção de cimento, por exemplo, é necessária elevada quantidade de energia, produzindo uma pegada de carbono relativamente grande. Outro fato relacionado às matérias-primas é que possuem uma massa elevada em relação ao volume, resultando que o transporte contribui para agravar os efeitos sobre o meio ambiente.

Assim, o processo de obtenção de areia e brita ocorre através de mineradoras, conhecidas respectivamente como portos de areia e pedreiras. Entretanto, o mercado de agregados pode absorver produção vinda de outras fontes, como a produção de areia de origem industrial ou de quartzito industrial, ambas geralmente destinadas às indústrias vidreira e metalúrgica. No caso da brita, pode ser o produtor de rocha calcária usada nas indústrias caieira e cimenteira. Nestes casos, em geral, a parcela da produção que não atinge padrões de qualidade para os usos citados é destinada a um uso que não requer especificação tão rígida.

No caso da produção de cimento, o processo tecnológico implantado na maioria das indústrias brasileiras é conhecido como processo via seca e é constituído, basicamente, das seguintes etapas (SANTI, 2003):

- 1° Moagem e homogeneização das matérias primas – calcário (94%), argila (4%) e quantidades menores de óxidos de ferro e alumínio (2%) – para obtenção da farinha crua.
- 2° Clinquerização da farinha crua em fornos rotativos para obtenção e resfriamento do clínquer.
- 3° Moagem do clínquer para adição do gesso para obtenção do cimento.
- 4° Ensacamento e expedição do produto final.

A atividade de mineração da rocha calcária é realizada em grandes lavras mecanizadas a céu aberto. As rochas são desmontadas com explosivos e tem seus tamanhos reduzidos para granulometria adequada à sua alimentação nos moinhos de matérias primas da planta de fabricação de cimento (SANTI, 2003). Nessa fase, há impactos causados por cavas abandonadas, erosões e desmoronamentos com o comprometimento de cursos d'água e perturbações de *habitats*.

A fase que apresenta o principal impacto na produção de cimento está relacionada à produção do clínquer, que em pó tem a peculiaridade de desenvolver uma reação química em presença de água, na qual ele, primeiramente, torna-se pastoso, e em seguida, endurece adquirindo elevada resistência e durabilidade (MAURY DE CARVALHO, 2008). Este é composto pela mistura de diversos componentes (óxidos de silício, alumínio, ferro e cálcio), incluindo o carbonato de cálcio. Esta etapa envolve grande demanda de energia, pois são exigidas altas temperaturas nos fornos rotativos e, conseqüentemente, emite uma grande quantidade de CO₂ para a atmosfera (YOKOTE, 2003).

Segundo Maury de Carvalho (2008) são necessárias 1,7 toneladas de material bruto por tonelada de clínquer fabricado, o que gera aproximadamente 1 tonelada de emissão de CO₂, onde a calcinação da pedra calcária e a queima de combustíveis contribuem com metade da emissões. O setor cimenteiro, é responsável por cerca de 5% da emissão mundial de CO₂ na atmosfera, sendo juntamente com a queima de combustíveis fósseis e o desmatamento, um dos maiores emissores de gases do efeito estufa, possuindo parcela de responsabilidade no aquecimento global.

O reaproveitamento, reutilização e reciclagem são práticas aplicáveis ao processo produtivo do cimento, que é propício ao fechamento de ciclos e à integração com outros tipos de fábricas e processos produtivos, abrindo um grande leque de opções

para tornar esse setor menos impactante ao meio ambiente. Entretanto, os impactos gerados pelo setor não se resumem à dimensão ambiental. O estabelecimento desse tipo de indústria pode causar ainda problemas de cunho social, relacionados tanto à saúde humana quanto a conflitos com os habitantes das comunidades do entorno das fábricas. A grande geração de material particulado suspenso pode causar doenças pulmonares graves, além da irritação dos olhos, ouvidos e fossas nasais (MAURY DE CARVALHO, 2008).

2.2. Avaliação do ciclo de vida

Segundo Russell *et al.* (2005), o conceito de avaliação de ciclo de vida (ACV) foi desenvolvido a partir da idéia de compreender os impactos ambientais globais de produtos, que foi concebido na Europa e nos EUA no final de 1960 e início de 1970. A ACV é uma ferramenta que tem como objetivo identificar pontos de melhoria de um dado processo, produto ou atividade econômica em todas as etapas de seu ciclo de vida (SETAC, 1993).

Existem diversas maneiras de quantificar os impactos ambientais de determinado produto ou processo, porém a metodologia da ACV tem sido amplamente adotada no meio empresarial e científico, sendo conhecida na literatura especializada por *Life Cycle Assessment* (LCA), geralmente vinculada à expressão *cradle-to-grave approach* (abordagem do berço ao túmulo), para reforçar a intenção de uma abordagem completa do processo produtivo. Esta ferramenta de gestão ambiental possibilita monitorar a cadeia de produção de um produto desde a extração da matéria-prima até o uso final, incluindo etapas de reuso, reciclagem e destinação final de resíduos (FERNANDES, 2009).

A ACV pode ser classificada como atribucional ou consequential. A ACV atribucional analisa os fluxos de materiais, energia, água, emissões e etc, e os relaciona aos impactos que ocorrem no ambiente, sendo que esse método é muito criticado por não suportar decisões baseadas em cenários futuros. A ACV consequential busca analisar as mudanças que podem ocorrer nos fluxos, permitindo conhecer as consequências ambientais futuras provocadas pelo uso de determinada substância

estudada (CURRAN, 2006). Ou seja, a ACV atribucional fornece informações sobre os impactos dos processos de um produto, mas não considera os efeitos indiretos decorrentes de mudanças na produção promovidas pelo uso deste produto. Já a ACV consequencial, fornece informações sobre as conseqüências das mudanças decorrentes da produção (incluindo consumo e descarte) de um produto, incluindo efeitos dentro e fora de seu ciclo de vida (BRANDER *et. al*, 2009).

2.2.1. Metodologia da ACV

Os princípios e marcos de referência da ACV estão descritos nas normas ABNT NBR ISO 14040:2009 - avaliação do ciclo de vida, princípios e estrutura e ABNT NBR ISO 14044:2009 - avaliação do ciclo de vida - requisitos e orientações. Estas normas foram revisadas e cancelam as ABNT NBR ISO 14041:2004, ABNT NBR ISO 14042:2004 e ABNT NBR ISO 14043:2005 (ABNT ISO 14040, 2009). Segundo esta metodologia, a ACV é dividida em quatro fases: definição do objetivo e escopo, análise do inventário, avaliação de impactos ambientais e interpretação de resultados.

2.2.2. Definição do objetivo e escopo

O escopo da ACV deve ser definido de forma clara para assegurar que a extensão, profundidade e o grau de detalhe do estudo sejam compatíveis e suficientes para atender ao objetivo estabelecido, sendo que (ABNT NBR ISO 14044, 2009):

- Extensão – onde iniciar e parar o estudo da ACV;
- Largura – quantos e quais subsistemas incluir;
- Profundidade – nível de detalhamento do estudo.

Os requisitos de qualidade dos dados devem ser definidos de forma a possibilitar que o objetivo e o escopo do estudo sejam alcançados (ABNT NBR ISO 14044, 2009).

2.2.3. Análise de inventário do ciclo de vida

Inventário de Ciclo de Vida (ICV) é um resultado da coleta e organização dos dados, onde foram realizados os cálculos visando quantificar as entradas e saídas relevantes do sistema como um todo. À medida que os dados vão sendo coletados mais conhecimento sobre o sistema vai sendo adquirido, dessa forma é possível que sejam identificados novos requisitos ou limitações para os dados que requeiram uma mudança nos procedimentos de coleta de dados (YOKOTE, 2003).

Segundo Rebitzer (2004) a racionalização de esforços deve concentrar-se na análise de inventário do ciclo de vida, que normalmente é a fase mais demorada. Existem diferentes estratégias para a simplificação da análise do inventário, dependendo do objetivo e escopo do estudo, o nível de detalhe das informações, o nível aceitável de incerteza, e os recursos disponíveis (tempo, recursos humanos, orçamento).

2.2.4. Avaliação de impactos ambientais

Esta etapa é definida como sendo um processo técnico, quantitativo, e/ou qualitativo, para caracterizar e avaliar os efeitos das cargas ambientais identificadas na componente inventário, facilitando a agregação e interpretação dos dados em formas que sejam mais manejáveis e significativas para a tomada de decisão (SETAC, 1993).

Esta fase é composta por seis elementos, sendo três de realização obrigatória (seleção das categorias de impacto, classificação e caracterização) e três opcionais (normalização, agrupamento e ponderação), descritos a seguir (SOUSA, 2008):

- Seleção de categorias de impacto: deve ser consistente com os objetivos e escopo do estudo ACV. Defini-se “categoria de impacto” como uma classe que representa as questões ambientais relevantes às quais os resultados da análise do ICV podem ser associados (ABNT NBR ISO 14040, 2009).
- Classificação: refere-se à correlação das cargas ambientais do inventário com as diferentes categorias de impacto selecionadas. Os resultados do ICV podem ser relacionados a uma ou mais categorias.
- Caracterização: envolve a agregação das cargas ambientais dentro de cada categoria de impacto e sua conversão para unidades comuns (indicadores de categoria), resultando em um único índice numérico por categoria (fatores de caracterização).
- Normalização: os resultados dos indicadores de categoria são relacionados a uma situação de referência, fornecendo informação sobre sua significância relativa.
- Agrupamento: envolve a ordenação dos resultados caracterizados, e normalizados, em um ou mais conjuntos. Estes conjuntos podem, por exemplo, fazer referência à escala espacial das categorias (global, regional ou local) ou à hierarquia seguida (prioridade alta, média ou baixa).
- Ponderação: consiste na atribuição de pesos (fatores de ponderação) a cada categoria de impacto ou conjunto, destacando sua importância com relação aos demais, sendo este, um processo inteiramente subjetivo.

Existem diversos métodos de AICV que contemplam um determinado conjunto de categorias de impacto. Estes foram desenvolvidos por diversas instituições ao redor do mundo, como por exemplo: CML (Holanda), Eco-Indicator 99 (Holanda), EDIP 2003 (Dinamarca), EPS2000d (Suécia), Impact2002+ (Suíça), TRACI (EUA), LIME (Japão), LUCAS (Canadá) e SALCA (África do Sul) (SOUSA, 2008).

Alguns métodos estão disponíveis nos softwares normalmente utilizados nos estudos de ACV. A inexistência de um método de avaliação de impactos do ciclo de

vida específico para as condições brasileiras implica em dificuldades no momento de seleção de métodos para um estudo ACV. Desta maneira, as incertezas geradas no estudo podem ser reduzidas adotando-se múltiplos métodos de avaliação, o que garantirá maior confiabilidade aos resultados obtidos (PIEKARSKI *et al.*, 2012). Como os métodos geralmente possuem diferentes abordagens para a quantificação dos impactos, a escolha de diversos métodos faz com que sejam possíveis diferentes interpretações.

2.2.5. Interpretação de resultados

A última componente da avaliação do ciclo de vida é interpretação dos resultados do estudo, avaliando sistematicamente as oportunidades para redução dos impactos de um produto, processo ou atividade no meio ambiente, alcançando conclusões, explicando as limitações e provendo recomendações baseadas nas conclusões das fases precedentes (KIPERSTOK *et al.*, 2009). Compreende a etapa em que as constatações da análise de inventário e da avaliação de impacto são consideradas em conjunto.

Também nesta etapa devem ser avaliadas as incertezas dos dados da ACV, a fim de melhorar a qualidade do estudo, permitindo uma melhor caracterização e interpretação dos resultados e conseqüentemente promovendo um balanço mais preciso sobre as alternativas avaliadas (BENEDET Jr., 2007).

2.2.6. Dificuldades da ACV

Em muitos casos, o processo de coleta de informações acaba sendo inviabilizado por motivos diversos, tais como o desinteresse de empresas ou setores produtivos e a preservação da confidencialidade no uso de informações relacionadas a determinados insumos e tecnologias. Deve-se evidenciar, ainda, a resistência de muitas corporações em despertar a atenção de agências ambientais como também

de organizações não governamentais para aspectos ambientais de seus processos, temendo com isso ser objeto de sanções das mais variadas naturezas (SEO, 2006).

Além disso, a ausência de uma metodologia unificada para a aplicação da técnica constitui um problema para efeito de interpretação dos resultados obtidos a partir de estudos dessa natureza. Algumas instituições, dentre elas a SETAC (*Society of Environmental Toxicology and Chemistry*) e a ISO, propuseram estruturas conceituais para a condução de estudos de ACV. Ainda que as variações entre os métodos não sejam demasiadamente díspares, há registros de aplicações dessas metodologias para o mesmo caso acarretando resultados distintos entre si (SEO, 2006).

Dentro, ainda, das dificuldades que a ACV demonstra, deve-se por fim fazer menção à ausência de modelos para avaliação de impactos ambientais (disponíveis nos *softwares* especializados) de ordem regional e local para determinados países, como no Brasil (UDO DE HAES, 2005). Até o momento, a confecção das análises das quais se depreende a necessidade de tais abordagens é conduzida utilizando-se modelos europeus e norte-americanos, os quais foram estabelecidos para o âmbito acima indicado, a partir das realidades geográficas, climatológicas, hídricas e de relevo daquelas regiões (SEO, 2006).

2.3. Estudos realizados anteriormente

De acordo com Werner (2007) um dos primeiros estudos neste campo Erlandsson *et al.* (1992) apresentaram uma comparação de postes de madeira tratada com creosoto ou CCA (cromo, cobre e arsênio), postes de alumínio ou de concreto armado. Outros estudos analisaram postes de madeira e postes tratados com creosoto ou CCA, mas sem levar em conta materiais alternativos (Hillier *et al.* 1994, Murphey *et al.* 1995, Hillier *et al.* 1996, Hillier *et al.* 1997).

Künniger & Richter (1995) realizaram uma ACV de postes na Suíça em comparação de diferentes tipos de madeira tratada (a base de Cobre, Cromo e Flúor e a base de Cobre, Cromo e Boro), concreto armado e aço, assumindo uma vida útil de 60 anos.

Para os postes de madeira foi assumida uma substituição após 30 anos. Foram consideradas as etapas de extração e processamento de matérias-primas, fornecimento de energia, produção e instalação, manutenção, desmontagem, reciclagem e eliminação, incluindo o transporte durante as etapas. No estudo, estima-se que a energia necessária para a produção do poste de madeira é menor do que das alternativas. Os postes de aço tiveram o pior resultado em 9 dos 11 parâmetros de avaliação, causado principalmente, pelos efeitos da produção do aço. Os postes de madeira apresentaram pouca contribuição para o efeito estufa, porém alto potencial de ecotoxicidade. Já os postes de concreto têm maior potencial de geração de resíduos sólidos, mas não contribuem para a poluição do solo. Posteriormente Künniger & Richter (1998) realizaram um estudo similar aplicado para dormentes ferroviários Suíços. Os resultados também apontaram benefícios ambientais para os materiais de madeira tratada.

Uma estimativa realizada por Sedjo (2001) sobre o efeito da substituição dos postes de aço para postes de madeira em 1 km de rede na Suíça revelou a possibilidade de redução de 34.436 kg de CO₂ equivalentes, um dos responsáveis do efeito estufa.

Bolin & Smith (2011) compararam o ciclo de vida dos postes de madeira tratada com pentaclorofenol com postes de concreto e postes de aço. O estudo foi realizado nos EUA e considerou uma vida útil de 60 anos para as três alternativas, levando em conta manutenções periódicas. Além disso, esta ACV avaliou as oportunidades para reduzir os impactos ambientais associados. Os dados de produção dos postes foram baseados em fontes publicadas. Como resultados, obteve-se que os gases de efeito estufa, o uso de combustível fóssil, a acidificação, o uso da água e a ecotoxicidade tiveram menores valores de impacto para os postes de madeira tratada com pentaclorofenol do que aqueles obtidos para os postes de concreto e de aço.

O estudo mais recente encontrado sobre o assunto foi realizado por SCS Global Services (2013), desenvolvido no sudeste dos EUA, região em que atualmente é composta por praticamente somente postes de madeira. Trata-se de uma ACV consequential com o objetivo de comparar os impactos ambientais da substituição dos postes de madeira (pinus) tratados com CCA e postes de aço galvanizado. A unidade funcional considerada foi o uso de um milhão de postes por 40 anos, levando em conta a vida útil dos postes de aço de 80 anos e dos postes de madeira 40 anos. Desta maneira foram analisados dois cenários:

- A substituição dos postes de madeira após a vida útil por novos postes de madeira (atividade realizada atualmente);
- A substituição dos postes de madeira após a vida útil por postes de aço galvanizado.

Como consequência da substituição de um produto, alguns materiais devem ter sua demanda reduzida, como no caso do produto químico CCA quando ocorre a maior demanda por postes de aço. Os impactos dos postes de madeira foram elevados neste estudo principalmente em função das florestas plantadas para produção de madeira, pelo uso de herbicidas nas plantações, pelas emissões provenientes da extração do minério de arsênio na China, e pela disposição final irregular (no solo) após o fim da vida útil (no qual se comenta ser frequente neste local). Entre as suas conclusões, a pesquisa mostrou que a substituição de postes de madeira por postes de aço galvanizado irá provavelmente resultar em níveis mais baixos de gases de efeito estufa, menores impactos sobre os recursos energéticos, sobre os habitats de espécies ameaçadas de extinção e sobre emissões e resíduos perigosos (SCS GLOBAL SERVICE, 2013).

No Brasil não foram encontrados estudos que realizaram essa comparação no âmbito da ACV. Merece destaque o trabalho de Yokote (2003), que propõe um Inventário de Ciclo de Vida para o sistema de distribuição de energia elétrica, incluindo os postes.

É de se notar que uma ACV pode ser diferente para regiões distintas, uma vez que o valor de entrada de muitos dos parâmetros que são analisados são característicos de determinadas localidades ou países. Ainda, a determinação do objetivo e escopo do estudo influencia diretamente nos resultados de uma ACV, fato que demonstra certa variabilidade dos resultados dos trabalhos citados.

2.4. Estimativa do tempo de vida útil – Método fatorial

O termo “vida útil” se refere ao período de tempo que o objeto em questão atinge ou excede os requisitos de desempenho. Ao longo dos últimos anos, tem havido um

crescente interesse em torno da determinação do tempo de vida útil de diversos tipos de materiais e estruturas para auxiliar na avaliação do impacto ambiental, contribuindo na escolha daquele mais adequado, considerando também as questões ambientais e econômicas (HOVDE & MOSER, 2004).

Existe uma variabilidade do tempo de vida útil de determinados equipamentos em função de diversos fatores: qualidade da produção, local de instalação, nível de manutenção, etc.. Por exemplo, apesar de a normalização brasileira exigir uma vida útil mínima de 35 anos para os postes de concreto, na costa da capital sergipana foram verificados postes com apenas 5 anos de instalação e praticamente, inutilizáveis (JOUKOSKI, 2003).

O tempo de vida útil tem o potencial de influenciar os resultados da ACV podendo inclusive confundir estudos de comparação entre produtos. No entanto, muitos estudos de ACV não tratam adequadamente a vida útil (período em que o produto está realmente em uso), mas sim assumem valores típicos. Dados confiáveis sobre a vida útil de produtos poderiam melhorar os resultados de ACV (AKTAS, 2011).

Existem três abordagens diferentes para os métodos de estimativa de vida útil, descritos da seguinte maneira (HOVDE & MOSER, 2004):

- Métodos determinísticos;
- Métodos probabilísticos;
- Métodos de engenharia.

Os métodos determinísticos baseiam-se no estudo dos fatores de degradação que afetam os elementos estudados, na compreensão dos seus mecanismos de atuação e na sua quantificação traduzida em funções de degradação. A segunda categoria de métodos define a probabilidade de ocorrência de uma mudança de estado do elemento, procurando descrever a evolução da degradação e as respectivas incertezas decorrentes dos períodos de tempo considerados. Por fim, os métodos de engenharia surgem de forma a conciliar as vantagens destes dois métodos, o que faz dele um método mais simples (SANTOS, 2010).

A análise estatística a partir de dados históricos do desempenho de produtos pode ser altamente representativa por avaliar dados reais de durabilidade (a partir das datas de instalação e retirada dos equipamentos, por exemplo, a análise de sobrevivência), desde que os dados utilizados sejam confiáveis. Na ausência de um

banco de dados definido, a estimativa de vida útil em laboratório também pode ser utilizada, porém demanda tempo e recursos para que a simulação seja representativa em relação às condições reais.

O Método Fatorial, incluído na classe dos métodos determinísticos, proposto pela ISO 15686 (2011), é aquele que tem maior aceitação na comunidade científica e aplicação prática pela sua elevada operacionalidade. Este método permite estimar a vida útil de um determinado produto da construção civil sob determinadas condições específicas.

Partindo de um valor da vida útil de referência, esperada em condições padrão, obtém-se uma estimativa da vida útil para as condições particulares pretendidas, através da multiplicação da vida útil de referência por uma série de fatores relacionados com diversos aspectos determinantes para a durabilidade (AKTAS, 2011).

Os valores que devem ser atribuídos aos fatores representam o desvio em relação às condições de referência e, por isso, devem ser sempre próximos de 1,0. Os valores sugeridos pela norma ISO 15686 (2011) encontram-se na Tabela 01 (SANTOS, 2010).

Tabela 01 - Valores de desvio dos fatores em relação à condição de referência

Valor	Desvio em relação à condição de referência
0,8	Influência negativa
1,0	Sem desvio
1,2	Influência positiva

Fonte: Santos (2010).

3. CAPÍTULO III - MATERIAL E MÉTODOS

Esta pesquisa é de natureza aplicada, devido a seu interesse prático e a possibilidade de utilização dos resultados para resolver problemas de nossa realidade. Do ponto de vista dos seus objetivos ela é exploratória e descritiva. A forma de abordagem do problema é quantitativa, e os dados utilizados serão de fontes primárias e secundárias.

A pesquisa ocorreu, em sua maior parte, no laboratório de informática do Departamento de Engenharia química da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia (UFBA).

Devido à complexidade da ACV, foram realizados treinamentos e cursos que contaram com as colaborações do grupo de ACV da Rede de Tecnologias Limpas (TECLIM) da UFBA, do grupo de Ecologia Industrial do Instituto Federal da Bahia (IFBA) e do grupo de ACV da Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC).

A aplicação do Método Fatorial para estimativa do tempo de vida útil dos postes contou com uma pesquisa refinada sobre o desempenho destes diante de diversos fatores. O tratamento dos dados estatísticos desta etapa contou com o auxílio do software *R-project*, e para isso, foi realizado um treinamento promovido pelo grupo GAMA (*Growing with Applied Multivariate Analysis*) da UFBA. A estimativa do tempo de vida útil dos postes foi necessária para demonstrar a variabilidade deste parâmetro e seus reflexos na ACV.

A aplicação da ferramenta ACV ocorreu através do software SimaPro versão 7.3.3. Seguiu a estrutura metodológica recomendada nas normas da série ISO 14040, de acordo com as quatro fases padronizadas. Baseou-se na proposta do cone invertido, conforme explicado no item 3.1.

Foram realizadas visitas técnicas do tipo participante e coleta de informações através de pesquisa documental, base de dados de produção, dados de requisição de matéria prima e demais áreas de apoio. Houve também reuniões com especialistas para definir pontos importantes da pesquisa.

Os levantamentos bibliográficos foram realizados durante todo o desenvolvimento do trabalho e alguns estudos prévios foram necessários para auxiliar o entendimento

dos processos antes de iniciar a coleta de dados, obtendo-se um maior conhecimento a respeito do assunto.

Para a modelagem dos subsistemas envolvidos no estudo, se fez necessário a busca pelas informações nas empresas fabricantes de postes. No entanto, na maioria dos casos nenhum retorno foi obtido, com exceção de uma empresa que fabrica postes de madeira e cultiva o eucalipto para tal finalidade, bem como de outra empresa que produz postes de concreto, possibilitando a realização de visitas técnicas. A partir daí, os dados primários foram coletados, trabalhados e organizados.

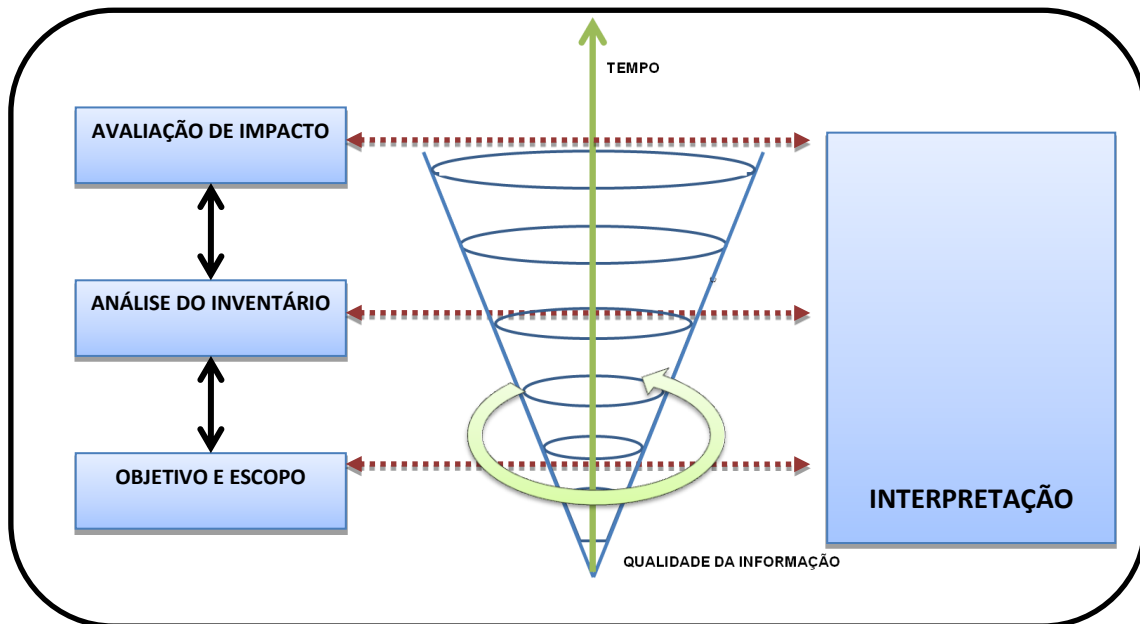
Os dados secundários foram obtidos através de pesquisas bibliográficas como, livros, artigos vinculados em periódicos especializados, dados disponíveis na internet, relatórios de pesquisas na área, informações em catálogos de fabricantes, processos e fluxos existentes nos bancos de dados do *Ecoinvent V2.2* e *United States Life Cycle Inventory (USLCI)*, entre outros.

A coleta de dados tem a função principalmente de compor o inventário de ciclo de vida, apresentado no capítulo IV.

3.1. Melhoria continua da informação - Cone invertido

Cada etapa da ACV pode sofrer melhorias ao longo do tempo, de acordo com a disponibilidade dos dados que são obtidos, e conseqüentemente, aprimorando a qualidade das informações. Diante desta questão, adotou-se a metodologia denominada de “cone invertido”, no qual se baseando na proposta da norma ABNT NBR ISO 14040 (2009), que prevê as quatro fases padronizadas da ACV, incrementou-se a possibilidade de gerar várias rodadas no programa conforme as incertezas das informações utilizadas no trabalho foram aprimoradas, melhorando sua qualidade (KIPERSTOK, 2009). A figura 02 mostra o desenho esquemático deste método.

Figura 02 – Proposta metodológica do cone invertido



Fonte: Kiperstok *et al.* (2009).

Esta é uma técnica iterativa e, à medida que dados e informações foram coletados, vários aspectos exigiram modificações visando a atender ao objetivo original do estudo. Desta maneira, conforme o tempo disponível para aprimorar as fronteiras do estudo, novas rodadas foram executadas com o objetivo de melhorar a análise.

Por exemplo, mesmo antes da coleta de dados primários, já havia sido modelado o ciclo de vida dos postes com dados teóricos. Assim, foi possível ter uma prévia compreensão dos potenciais impactos ambientais envolvidos. Conforme o inventário do ciclo de vida foi aprimorado, novas rodadas foram geradas melhorando a qualidade dos resultados obtidos.

4. CAPÍTULO IV - APLICAÇÃO DO MÉTODO FATORIAL

Neste trabalho foi adaptado o Método Fatorial proposto pela norma ISO 15686 (2011), que possibilita estimar a vida útil de um determinado produto da construção civil, para aplicação nos postes do sistema de distribuição de energia elétrica.

O fato dos materiais utilizados nos postes serem os mesmos materiais utilizados na construção civil permitiu a aplicação deste método, já que a estimativa de vida útil não foi possível (pela falta de dados) através de um histórico de datas de instalação e retirada dos postes.

A estimativa de vida útil através do método fatorial se dá a partir do produto da vida útil de referência por sete fatores, conforme demonstrado na eq.(1):

$$VUE = VUR \times A \times B \times C \times D \times E \times F \times G$$

Onde:

VUE – Vida útil estimada

VUR – Vida útil de referência

Fator A – Qualidade do material ou componente;

Fator B – Nível de qualidade do projeto;

Fator C – Nível de qualidade da execução;

Fator D – Características do ambiente interior;

Fator E – Características do ambiente exterior;

Fator F – Características do uso;

Fator G – Nível de manutenção.

A finalidade da aplicação deste método foi obter uma variabilidade do tempo de vida útil dos postes para que este parâmetro seja verificado na análise de sensibilidade da ACV.

De acordo com a norma ISO 15686 (2011) o valor da VUR é determinante para ser realizada uma análise consistente, obtendo resultados satisfatórios. Como a aplicação do método neste estudo não está direcionada para uma situação exclusiva, e sim para demonstrar a variabilidade que este parâmetro está sujeito, o valor da VUR foi atribuído e não calculado.

A norma de especificação dos postes de madeira em vigência – ABNT NBR 8456 (1984) – estabelece um tempo mínimo de vida útil de 15 anos. Já a norma de

especificação dos postes de concreto armado – ABNT NBR 8451 (1998) – estabelece um tempo mínimo de vida útil de 35 anos. Porém, não há, em nenhuma delas, o cruzamento destas informações com dados característicos da região, como o clima ou tipo de solo, desconsiderando a variabilidade geoclimática do território brasileiro. Além disso, os valores de vida útil atribuídos aos postes, não levam em conta dados de operação do sistema, como a realização de manutenção periódica. Assim, as normas consideram que, independentemente da região onde estejam instalados os postes, terão um único valor referente à vida útil.

A superintendência de regulação econômica da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) publicou em 2010 uma nota técnica com os valores de vida útil dos bens do setor elétrico revisados, definidos a partir de pesquisa internacional, pesquisa de fabricantes e normas técnicas e pesquisa junto aos agentes. Os valores encontrados são de 26 e 28 anos, correspondentes aos postes de madeira e de concreto, respectivamente (ANEEL, 2010). Neste caso, os postes de madeira assumem valor de vida útil elevado em relação à norma principalmente em função da influência das pesquisas internacionais, já que estudos de outros países (geralmente em climas temperados) assumem uma vida útil para estas estruturas variando entre 30 e 60 anos. Além das influências climáticas, essa diferença de tempo de vida útil se dá em função da ocorrência de manutenção periódica bem como de maiores taxas de retenção da substância preservativa na madeira (KÜNNIGER & RICHTER, 1995; BOLIN & SMITH, 2011).

Desta maneira, os valores de referência assumidos foram selecionados a partir de consulta a especialista da área, obtendo-se um tempo de vida útil de 15 anos para os postes de madeira e de 30 anos para os postes de concreto. A partir daí, a definição dos fatores que influenciam no tempo de vida útil dos postes foi realizada de acordo com levantamento de informações provenientes de especialistas, normas e recomendações das concessionárias de energia elétrica e bibliografia disponível. A estimativa de vida útil foi realizada separadamente para o poste de concreto e o poste de madeira, já que estes possuem sistemas distintos.

4.1. Estimativa de vida útil – postes de madeira

4.1.1. Fator A - Qualidade do produto

Representa a qualidade dos materiais ou componentes nas condições em que são fornecidos, segundo as especificações do projetista. No caso dos postes de madeira, a qualidade do material é resultado, dentre outros fatores, de um bom manejo do eucalipto, sendo este muito importante por assumir a posição de matéria prima elementar do processo.

Fatores de influências do meio de cultivo (como umidade, condições do solo e espaço de crescimento) podem resultar em considerável variabilidade nas propriedades do material. A poda dos galhos e o controle dos nós devem ser feitos sem remoção desnecessária da madeira sã, de forma a impossibilitar a acumulação de água no local. A tabela 02 diz respeito aos índices aplicáveis para o fator A1 referente à qualidade da madeira influenciada pelo cultivo.

Tabela 02 – Índices aplicáveis ao Fator A1

Condições de cultivo	Índice aplicável
Ótimas	1,2
Boas	1,0
Ruins	0,8

Na obtenção da madeira para a fabricação de postes, algumas características são fundamentais, como: proporção entre cerne e alburno, dimensões das peças, espécies selecionadas, idade de corte, resistência mecânica, presença de defeitos, cuidados no manuseio (corte, baldeio, estaleiramento, carregamento e transporte), entre outras. Estas características estão presentes em norma, e estão sujeitas a inspeções para verificação do material. A tabela 03 diz respeito aos índices aplicáveis para o fator A2 referente a adequação da madeira diante das características citadas em norma.

Tabela 03 – Índices aplicáveis ao Fator A2

Características da madeira	Índice aplicável
Completamente dentro dos padrões	1,0
Parcialmente dentro dos padrões	0,8

O melhoramento genético das árvores de eucalipto é uma prática consagrada. Atualmente os esforços se concentram principalmente no melhoramento genético para a indústria de celulose, sendo que, para as árvores com finalidade para postes (madeiras duráveis) as características desejáveis são diferenciadas. Fatores como alto teor de lignina, alta densidade da madeira (proporcionando maior resistência mecânica), e baixa tensão de cisalhamento (diminuindo rachaduras) são desejáveis (ALENCASTRO, 2010). Baseando-se nessas informações foram gerados os índices aplicáveis para o fator A3, conforme apresentado na tabela 04.

Tabela 04 – Índices aplicáveis ao Fator A3

Melhoramento genético	Índice aplicável
Ausente	1,0
Presente	1,2

4.1.2. Fator B - Nível de qualidade do projeto

Exprime o nível de qualidade do projeto. Este fator tem a ver com a adequação da escolha de uma solução construtiva específica, das medidas de proteção previstas, etc.

Após o abate da árvore, a secagem passa a ser o novo processo crítico. Os troncos são descascados e ficam de três a seis meses acondicionados a céu aberto (elevados do solo para evitar ataques biológicos) de modo a atingir o teor de umidade de 30%, para posterior tratamento. Este teor é importante para que o processo de tratamento adquira a qualidade esperada. A Tabela 05 foi gerada referente aos índices aplicáveis para o fator B1 que exprime as características de secagem dos postes anterior ao tratamento.

Tabela 05 – Índices aplicáveis ao Fator B1

Processo de secagem dos postes	Índice aplicável
Correta	1,0
Incorreta	0,8

O tratamento dos postes é essencial para sua durabilidade. Estudos apontam que em alguns casos, os postes não atingem a retenção de ingrediente ativo de $9,6 \text{ kg.m}^{-3}$ conforme recomendado em norma (VIDOR, 2011). A correta fixação do preservativo de madeira depende das condições de processamento e pós-tratamento. Deve-se obedecer ao tempo necessário para que a substância impregne na madeira (a depender da temperatura ambiente), proporcionando a adequada proteção necessária contra os agentes de degradação. Se a madeira tratada é colocada em serviço antes que as reações necessárias sejam completadas, esta estará sujeita à lixiviação do preservativo e conseqüente perda de expectativa de vida útil (AMARAL, 2012). A partir destas informações, foram gerados os índices aplicáveis para o fator B2 conforme exposto na tabela 06.

Tabela 06 – Índices aplicáveis ao Fator B2

Fixação do preservativo de madeira	Índice aplicável
Correta	1,0
Incorreta	0,8

Ainda, de acordo com Vidor (2011), a vida útil dos postes de madeira pode ser prolongada se houver a presença de concreto na base, de maneira a reduzir o contato com os agentes de degradação presentes no solo, conforme a figura 03. A parte mais susceptível ao ataque de fungos é na região de afloramento (parte do solo que contém oxigênio), onde deve ser aplicada a proteção com o intuito de diminuir a umidade no local (FREITAS, 2009).

Figura 03 – Concreto na base do poste de madeira



Fonte: O autor (2014).

Existem outros materiais que podem proteger a base do poste, como por exemplo, a fibra de vidro. Desta maneira, foram gerados os índices aplicáveis ao Fator B3 (tabela 07), que diz respeito ao uso de proteção na base do poste de madeira.

Tabela 07 – Índices aplicáveis ao Fator B3

Proteção na base	Índice aplicável
Presente	1,2
Ausente	1,0

4.1.3. Fator C - Nível de qualidade da execução

Refere-se à qualidade da execução. A avaliação deste fator deverá refletir a qualificação da mão de obra e também a existência ou não de fiscalização rigorosa. A tabela 08 determina os índices aplicáveis ao fator C1.

Tabela 08 – Índices aplicáveis ao Fator C1

Qualificação da mão de obra	Índice aplicável
Mão de obra qualificada e experiente	1,2
Mão de obra qualificada	1,0
Mão de obra não qualificada e inexperiente	0,8

Conforme já mencionado, são realizadas inspeções nos postes para acompanhar o processo de fabricação para que estes atinjam a qualidade final esperada. Desta maneira, a Tabela 09 foi gerada referente aos índices aplicáveis para o fator C2.

Tabela 09 – Índices aplicáveis ao Fator C2

Inspeção	Índice aplicável
Presente ou eficaz	1,0
Ausente ou ineficaz	0,8

4.1.4. Fator D - Características do ambiente interior

Refere-se às características do ambiente interior, tendo em conta os agentes de degradação. Não se aplica neste estudo.

4.1.5. Fator E - Características do ambiente exterior

Refere-se às características do ambiente exterior, influenciadas por agentes de degradação. Consideram-se como os mais importantes: radiação solar, umidade, salinidade, vento, poluição atmosférica e queimadas. Desta maneira, foram gerados índices aplicáveis a cada um destes fatores. A Tabela 10 foi gerada referente ao fator E1 – Radiação Solar. Locais protegidos por barreiras naturais (matas, morros, etc.) ou antrópicas (prédios, pontes, etc.), bem como outros locais com menores incidências de raios solares, são menos afetados por este tipo de agressividade.

Tabela 10 – Índices aplicáveis ao Fator E1

Radiação Solar	Índice aplicável
Não exposto	1,2
Meia sombra	1,0
Diretamente exposto	0,8

A umidade está presente no ar e no solo. Nos dois aspectos seu alto índice pode se tornar prejudicial aos postes. As condições do solo onde o poste é instalado pode

ser um fator de grande influência na vida útil, inclusive, se o solo estiver saturado, onde a taxa de deterioração é ainda maior. Quanto maior a umidade do ar (e inclusive o índice de precipitação) no local, mais acentuada é a perda de resistência dos postes ao longo do tempo. No caso dos postes de concreto este fator se agrava principalmente quando parte da armadura de aço se encontra exposta. Para os postes de madeira, a chuva proporciona lixiviação do preservativo da madeira para o solo, e conseqüente redução da vida útil (LEBOW, 2004).

Baseando-se nessas informações foi gerada a tabela 11, que se refere ao fator E2 – Umidade.

Tabela 11 – Índices aplicáveis ao Fator E2

Umidade	Índice aplicável
Baixo índice	1,0
Alto índice	0,8

A tabela 12 foi gerada referente ao fator E3 – Salinidade. Este fator está diretamente relacionado à proximidade do mar. Quanto mais próximo está o poste da névoa salina, mais sujeito à degradação ele se encontra.

Tabela 12 – Índices aplicáveis ao Fator E3

Salinidade	Índice aplicável
Região Interiorana	1,0
Região Litorânea	0,8

A tabela 13 foi gerada referente ao fator E4 – Vento. Algumas regiões, como regiões litorâneas, estão mais sujeitas a este tipo de agressividade.

Tabela 13 – Índices aplicáveis ao Fator E4

Vento	Índice aplicável
Baixo índice	1,0
Alto índice	0,8

A tabela 14 foi gerada referente ao fator E5 – Poluição atmosférica. Regiões metropolitanas e industriais estão mais sujeitas a este tipo de agressividade do que na zona rural, por exemplo.

Tabela 14 – Índices aplicáveis ao Fator E5

Poluição Atmosférica	Índice aplicável
Baixo índice	1,0
Alto índice	0,8

A tabela 15 foi gerada referente ao fator E6 – Queimadas. Regiões com altos índices de queimadas, onde fatores combinados como a seca e a proximidade de matas podem se tornar grandes potenciais deste tipo de agressividade.

Tabela 15 – Índices aplicáveis ao Fator E6

Queimadas	Índice aplicável
Baixo índice	1,0
Alto índice	0,8

4.1.6. Fator F - Características do uso

Reflete o efeito do uso na degradação do material ou componente. O uso dos postes muitas vezes pode ser realizado de maneira incorreta. A sobrecarga com equipamentos que exigem além de sua capacidade de projeto pode ser um fator relevante. A tabela 16 foi gerada referente ao fator F1 – Condições de uso.

Tabela 16 – Índices aplicáveis ao Fator F1

Condições de uso	Índice aplicável
Poste utilizado em concordância com as condições de projeto	1,0
Poste utilizado em discordância com as condições de projeto	0,8

Outro fator que reflete a má utilização dos postes é a interferência de vândalos ou até mesmo de acidentes automobilísticos. A tabela 17 foi gerada referente ao fator F2 – Interferências durante o uso.

Tabela 17 – Índices aplicáveis ao Fator F2

Interferências durante o uso	Índice aplicável
Índices de vandalismo ou acidentes automobilísticos ausentes	1,0
Índices de vandalismo ou acidentes automobilísticos presentes	0,8

4.1.7. Fator G - Nível de manutenção

Refere-se à manutenção e ao nível em que esta é empregada. Este fator é crucial para obter bom desempenho dos postes. A tabela 18 foi gerada referente ao fator G1 – Frequência de Manutenção.

Tabela 18 – Índices aplicáveis ao Fator G1

Frequência de Manutenção	Índice aplicável
Periodicidade de até três anos	1,2
Periodicidade de até dez anos	1,0
Ausência de manutenção	0,8

Uma alternativa buscando aumentar a durabilidade dos postes de madeira é o chamado “tratamento curativo” (retratamento) dos postes, que consiste na utilização de substâncias químicas tóxicas que visam prevenir ou interromper a deterioração biológica da madeira. Este processo é diferente do tratamento preservativo, pois a aplicação dos produtos é feita no poste em serviço e se restringe à chamada faixa crítica de deterioração (desde cerca de 20 cm acima da linha de afloramento do poste até no máximo 50 cm abaixo). Os produtos utilizados também são outros, sendo que a maioria deles é à base de boro e flúor, impregnando não só na porção externa do poste, mas também no seu cerne (VIDOR, 2011). A Figura 04 ilustra dois postes, sendo que aquele com melhor estado de conservação foi aplicado o retratamento e o outro não.

Figura 04 - Comparativo entre peças com aplicação de retratamento à base de Boro e Flúor e outro sem, após 3 anos



Fonte: Vidor (2011).

Desta maneira, foram gerados os índices aplicáveis para o fator G2 conforme exposto na tabela 19.

Tabela 19 – Índices aplicáveis ao Fator G2

Retratamento da base	Índice aplicável
Presente	1,2
Ausente	1,0

4.2. Estimativa de vida útil – postes de concreto

4.2.1. Fator A - Qualidade do produto

O fabricante dos postes de concreto deve efetuar os ensaios de controle de qualidade dos materiais utilizados na fabricação das estruturas, conforme especificado em norma. A partir destas informações, foram gerados os índices aplicáveis para o fator A1 conforme exposto na tabela 20.

Tabela 20 – Índices aplicáveis ao Fator A1

Qualidade dos materiais	Índice aplicável
Dentro dos padrões	1,0
Fora dos padrões	0,8

Ainda, o concreto possui determinadas propriedades (porosidade, permeabilidade, absorção capilar, migração iônica, difusão) que são influenciadas perante o uso de adições. Estas propiciam um maior refinamento dos poros do concreto, proporcionando uma maior proteção contra a penetração de agentes agressivos, podendo trazer resultados de desempenho satisfatórios (MOREIRA, 2001). Desta maneira, foram gerados os índices aplicáveis ao fator A2 (tabela 21), referentes ao uso de aditivos no concreto.

Tabela 21 – Índices aplicáveis ao Fator A2

Aditivos no concreto	Índice aplicável
Presentes	1,2
Ausentes	1,0

Para ambientes de atmosfera agressiva, sugere-se que o cobrimento da armadura de aço seja de 20 mm de espessura de concreto, e não 15 mm como de costume. A tabela 22 ilustra os índices aplicáveis para o fator A3.

Tabela 22 – Índices aplicáveis ao Fator A3

Cobrimento da armadura	Índice aplicável
Espessura de 20 mm de concreto	1,2
Espessura de 15 mm de concreto	1,0

4.2.2. Fator B - Nível de qualidade do projeto

Durante a inspeção realizada na fábrica, são realizados ensaios para verificação de momento fletor no plano de aplicação dos esforços reais, elasticidade, resistência à ruptura, cobrimento e afastamento da armadura e absorção de água. Algumas precauções devem ser tomadas durante o processo. O lançamento do concreto na forma deve ser cuidadoso e uniforme, para que não ocorra a segregação dos materiais (em função das diferentes massas). Além disso, a secagem do concreto deve ocorrer lentamente para evitar fissurações. Os postes de concreto são classificados de acordo com a seguinte relação:

- Poste bom: poste isento de qualquer defeito;
- Poste defeituoso crítico: poste que contém um ou mais defeitos críticos, podendo ter defeitos toleráveis e graves (neste caso considera-se a reprovação do poste);
- Poste defeituoso grave: poste que contém um ou mais defeitos graves, podendo conter defeitos toleráveis, mas não críticos;
- Poste defeituoso tolerável: poste que contém um ou mais defeitos toleráveis, não contendo defeitos graves nem críticos.

A partir destas informações, foram gerados os índices aplicáveis para o fator B1 conforme exposto na tabela 23.

Tabela 23 – Índices aplicáveis ao Fator B1

Ensaio para verificação das características dos postes	Índice aplicável
Poste bom	1,0
Poste defeituoso tolerável	0,9
Poste defeituoso grave	0,8

No que diz respeito ao transporte dos postes de concreto, devem ser observadas as seguintes recomendações:

- Sempre que possível devem ser utilizados veículos maiores que os postes a serem transportados;
- O veículo deve possuir travas de aço laterais e catracas para fixar e tracionar um cabo ao redor dos postes;
- Os postes da base devem ser firmemente calçados;
- O veículo deve ser carregado e descarregado através de guincho ou ponte rolante, que devem ser fixados no centro de gravidade dos postes;
- Os postes não devem sofrer esforços bruscos, quando suspensos, para evitar trincas, muitas vezes imperceptíveis;
- Durante o transporte devem-se evitar altas velocidades, freadas bruscas e movimentos laterais repentinos.

Desta maneira, foram gerados os índices aplicáveis para o fator B2 conforme exposto na tabela 24.

Tabela 24 – Índices aplicáveis ao Fator B2

Transporte dos postes	Índice aplicável
Transporte realizado corretamente	1,0
Transporte realizado incorretamente	0,8

4.2.3. Fator C - Nível de qualidade da execução

Idem aos postes de madeira (item 4.1.3.)

4.2.4. Fator D - Características do ambiente interior

Não se aplica neste estudo.

4.2.5. Fator E - Características do ambiente exterior

Idem aos postes de madeira (item 4.1.5.)

4.2.6. Fator F - Características do uso

Idem aos postes de madeira (item 4.1.6.)

4.2.7. Fator G - Nível de manutenção

Idem aos postes de madeira (item 4.1.7.), com exceção do fator G2 referente ao retratamento da base dos postes de madeira.

4.3. Resultados do Método Fatorial

A aplicação do método fatorial neste estudo não foi para um caso ou região específica, mas sim para demonstrar a variabilidade da vida útil, a depender de diversas situações. Desta maneira, os fatores modificadores da VUR geraram uma

distribuição de valores de VUE que variam desde as situações mais críticas até as situações mais favoráveis em relação a durabilidade dos postes.

Para melhor compreensão de como foram realizados os cálculos, apresenta-se a seguir um exemplo de aplicação da eq.(1) para um poste de concreto influenciado sob as condições mais favoráveis à sua durabilidade (fatores com valores elevados), selecionadas somente para efeito de cálculo:

$$VUE = VUR \times A \times B \times C \times D \times E \times F \times G$$

$$VUE = 30 \times [(1 + 1,2 + 1,2) \div 3] \times [(1 + 1) \div 2] \times [(1,2 + 1) \div 2] \\ \times [(1,2 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1) \div 6] \times [(1 + 1) \div 2] \times 1,0$$

$$VUE = 46 \text{ anos}$$

Este resultado apresenta grande desvio em relação à vida útil proposta pela norma (VUR), pois foram identificadas possíveis características que fariam com que a vida útil fosse prolongada.

O mesmo cálculo foi realizado para todas as possíveis combinações de valores encontrados nas tabelas do item anterior através da multiplicação de matrizes e geração de histograma pelo programa *R-project*. Os resultados obtidos geraram os histogramas de valores de vida útil estimados para o poste de madeira e para o poste de concreto (figuras 05 e 06, respectivamente). As barras verticais indicam o intervalo de confiança de 95%.

Figura 05 - Histograma dos valores de vida útil estimados para o poste de madeira

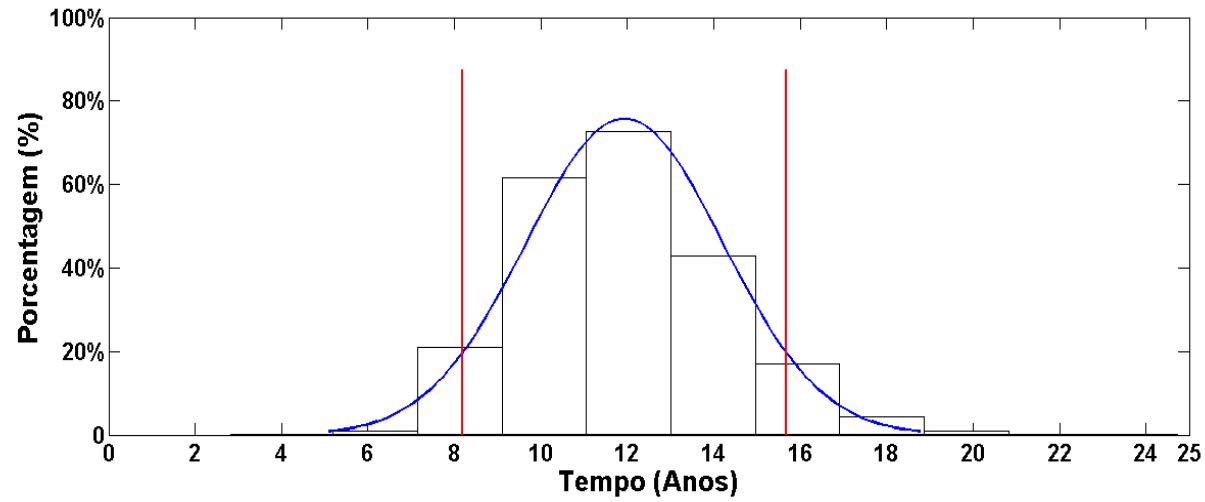
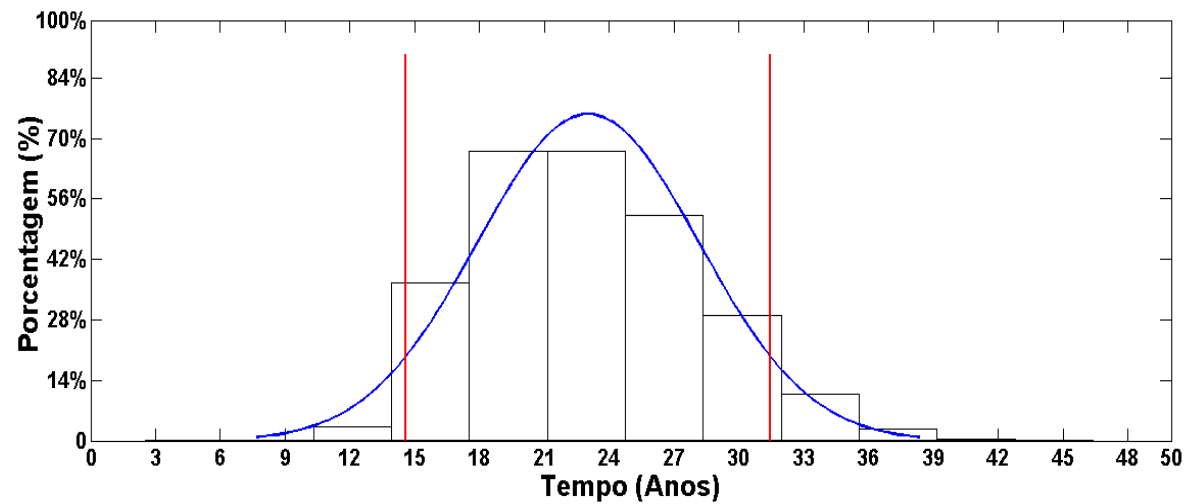


Figura 06 - Histograma dos valores de vida útil estimados para o poste de concreto



De acordo com as figuras 05 e 06, para um intervalo de confiança de 95%, as estimativas do tempo de vida útil variam de, aproximadamente 8 anos até 16 anos para os postes de madeira, e, de aproximadamente 16 anos até 32 anos para os postes de concreto, a depender de diversas situações já especificadas. Essa variabilidade será analisada no capítulo posterior junto com os resultados da ACV na análise de sensibilidade (item 5.12.2.3.).

5. CAPÍTULO V - AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA DOS POSTES

Este capítulo descreve detalhadamente como foi desenvolvida a ACV, incluindo a caracterização dos sistemas (processo produtivo dos postes), o inventário de ciclo de vida (balanço de materiais, energia e emissões envolvidos), avaliação de impactos ambientais e a interpretação de resultados (incluindo análise de incerteza).

5.1. Definição do objetivo e escopo da ACV

O objetivo desta ACV é comparar os impactos ambientais associados ao ciclo de vida dos postes de madeira e dos postes de concreto do sistema de distribuição de energia elétrica. Além disso, esta ACV tem como objetivo verificar diversos cenários relacionados à vida útil destas estruturas.

A razão que motivou este estudo foi buscar compreender os impactos ambientais dos postes de madeira e de concreto para que além do aspecto econômico, esta questão também seja considerada durante uma tomada de decisão. Outra motivação foi buscar compreender as influências geradas nos impactos ambientais destes produtos quando diferentes valores de vida útil são considerados.

O produto definido é o poste da Rede de Distribuição (RD) aérea em média tensão (15kV e 34,5 kV), considerando o poste de concreto Duplo T (DT), e o poste de madeira de eucalipto tratado com CCA-tipo C.

Estes tipos de postes foram selecionados devido à grande utilização no Brasil, de maneira que ambos podem exercer a mesma função. Os resultados alcançados neste trabalho são direcionados para o meio acadêmico, para os tomadores de decisão (mercado consumidor de postes) e para qualquer leitor que se interessar pelo assunto.

5.2. Função e unidade funcional

A função geral dos postes é sustentar as redes aéreas de distribuição de energia elétrica de média tensão e baixa tensão. A quantificação da função se faz necessária para permitir a comparação dos resultados numa base comum de referência.

A Unidade Funcional (UF) adotada neste estudo, é 1 km de RD, de suporte ao transporte de energia em média tensão (15kV e 34,5 kV), durante o período de 30 anos. Desta maneira pode-se calcular a quantidade de postes necessária para suprir este período de funcionamento da rede em função da vida útil das estruturas, obtendo-se um número diferente de postes necessários para sustentar a rede entre as alternativas analisadas.

Inicialmente foi assumido um tempo de vida útil de 15 anos para os postes de madeira e 30 anos para os postes de concreto. Posteriormente, o estudo irá assumir variações nas vidas úteis dos postes (análise de sensibilidade da ACV), devido a diversos fatores conforme discutido no capítulo IV.

A distância entre os postes pode variar de acordo com cada ocasião, de maneira que, a quantidade de postes que serão utilizados em 1 km de rede, será baseada na recomendação da norma NBR 15992 (2011), que admite o vão de 40 metros para redes urbanas, resultando num total de 25 postes. Nas redes rurais, a distância entre os postes pode ser ainda maior. Então, para o período considerado, são necessários 50 postes de madeira (tempo de vida útil de 15 anos) e 25 postes de concreto (tempo de vida útil de 30 anos).

A relação entre o comprimento e esforço do poste também é variável para cada situação em que este se encontra, e para fins de cálculos, buscou-se por um valor que pudesse ser representativo tanto para o poste de madeira quanto para o poste de concreto. A maior demanda de postes nos anos de 2013 e 2014 da Coelba foi de 11 metros de comprimento e resistências de 400 kgf, sendo essa a relação adotada.

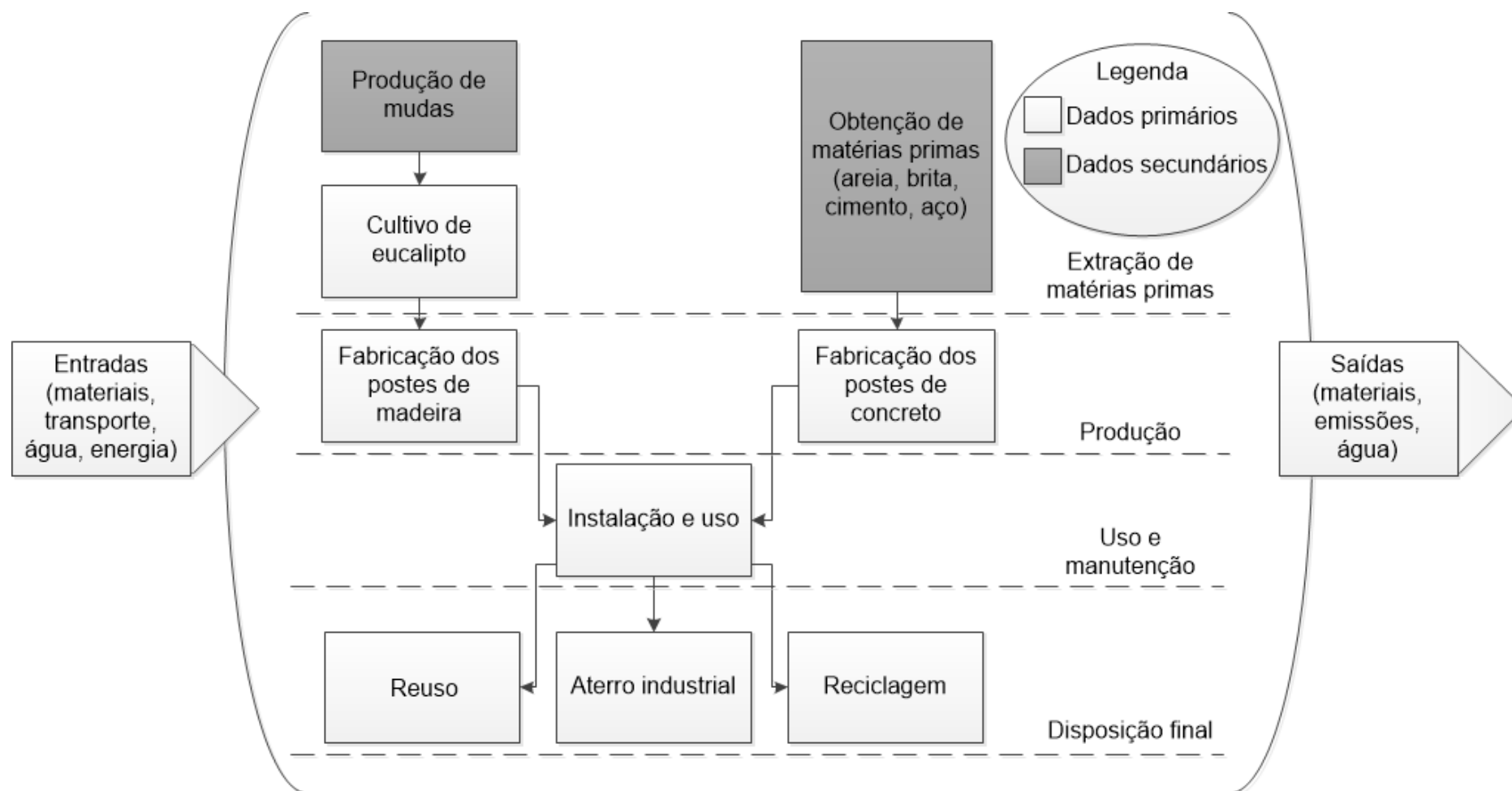
5.3. Fronteira do sistema

O limite do sistema deve ser definido de forma clara e precisa, e sua determinação deve envolver os dados de extensão, largura e profundidade, conforme descrito a seguir:

- Extensão – Os sistemas em estudo serão representados desde a etapa da extração das matérias primas até a disposição final, ou conforme conhecido na literatura, abrangência *cradle to grave*.
- Largura – Os subsistemas inclusos são: subsistema da agricultura do eucalipto, subsistema da fabricação dos postes de madeira, subsistemas da extração de matérias primas para produção do concreto, subsistema da fabricação do poste de concreto, subsistemas do uso e manutenção dos postes e subsistemas da disposição final dos postes.
- Profundidade – O estudo foi realizado com dados primários e secundários.

A Figura 07 ilustra as fronteiras do sistema, representando o comprimento, largura e profundidade do estudo.

Figura 07 – Fronteiras do sistema em estudo



Fonte: O autor (2014).

As etapas de extração dos recursos naturais correspondem aos seguintes sistemas:

- Subsistema do eucalipto, para obtenção das toras de madeira, matéria prima base para a fabricação do poste de madeira.
- Subsistema do cimento, subsistema do aço, subsistema da areia e subsistema da brita, representando as matérias primas básicas para a fabricação do poste de concreto.

Na fronteira da produção, estão inclusos os subsistemas de fabricação e tratamento do poste de madeira, e paralelamente a isto, encontra-se a etapa da fabricação do poste de concreto, ou seja, é a fronteira de manufatura dos produtos.

Para a fronteira referente ao uso, foi admitida uma frequência de substituição destes equipamentos, sendo quantificado o transporte e a quantidade de postes necessária para reparos. Por fim, na fronteira da disposição final foram considerados alguns cenários a depender das possibilidades e qualidades que os postes se encontram após o fim da vida útil (reciclagem, reutilização, aterro industrial).

As etapas que envolveram demanda de energia elétrica, transporte e consumo de água foram incorporadas ao ICV. Nas situações em que ocorreu o retorno do caminhão carregado para o local de origem, foi considerado a distância equivalente ao transporte em dobro.

Os resíduos sólidos, inertes e não inertes, ou subprodutos provenientes dos processos foram contabilizados. Vale enfatizar que neste estudo de ACV não foram considerados os investimentos de capital, ou seja, os recursos e a energia utilizados na construção e manutenção das indústrias, estradas, ferramentas, maquinários e outros.

5.4. Procedimento de alocação

Os procedimentos de alocação são empregados para sistemas multifuncionais, que apresentam mais do que um produto como saída principal (SILVA, 2012). No presente estudo, não houve alocação já que não houve a geração de subprodutos.

5.5. Métodos de avaliação de impacto ambiental e categorias de impacto ambiental

A seleção das categorias de impacto ambiental ou do método de avaliação de impacto é feita tomando-se como base a análise das questões ambientais relevantes para o ciclo de vida do produto estudado.

Neste trabalho foram selecionadas dois métodos de avaliação de impacto ambiental, para uma maior confiabilidade nos resultados. Os métodos selecionados foram:

- CML 2001: Se trata de um método midpoint (os impactos são convertidos em indicadores de categorias em um nível intermediário) desenvolvido na Holanda. É uma atualização do método CML 1992 e possui a opção de análise no âmbito global utilizando os anos de 1990 e 1995 como referência.
- ReCiPe: foi criado tendo como base os métodos CML (abordagem midpoint) e Eco-indicator 99 (abordagem endpoint), e por isso, este método possui os dois tipos de abordagens. Seu nome sugere que o método seja uma “receita” (em inglês, *recipe*) para calcular os indicadores de impacto da ACV.

A escolha dos métodos se deu pelo fato de terem a abordagem midpoint (proporcionando um menor grau de incerteza), e também por apresentarem algumas categorias de impacto ambiental similares, permitindo uma comparação dos resultados. Além disso, os dois métodos possuem a opção de avaliação em âmbito global, além de serem amplamente utilizados no meio acadêmico. Ambos possuem amplas interações entre os sistemas antrópicos e o meio ambiente, o que faz deles métodos robustos.

Ainda para a avaliação de impacto ambiental foram selecionadas as seguintes categorias de impacto ambiental (SOUSA, 2008; SILVA, 2010):

- Acidificação: As substâncias que mais contribuem para esta categoria são o SO₂, NO_x e NH_x, gerando impactos no solo, água, organismos biológicos, ecossistemas e materiais (edifícios e monumentos). Os gases atingem o meio ambiente por meio de deposição seca ou úmida,

esta última conhecida como “chuva ácida”. Este impacto é visto como um efeito regional em razão da limitada vida atmosférica dos seus contribuintes, tipicamente da ordem de alguns dias a uma semana.

- Eutrofização: diz respeito ao enriquecimento do ambiente aquático devido ao excesso de nutrientes – nitrogênio e fósforo – promovendo a proliferação de algas planctônicas e plantas aquáticas superiores ocasionando perda de qualidade da água.
- Aquecimento global: Recomendada pelo IPCC esta categoria refere-se ao aumento da temperatura terrestre pela presença de gases de efeito estufa, como dióxido de carbono (CO_2) e metano (CH_4). Estes gases absorvem as radiações emitidas pela superfície da Terra, causando seu aquecimento.
- Toxicidade humana: esta categoria caracteriza a exposição humana a substâncias tóxicas, especialmente através da ingestão e inalação. Valores referentes a efeitos toxicológicos agudos e crônicos fornecem estimativas do risco toxicológico e dos impactos associados à massa (em quilogramas) de determinada substância emitida ao meio.
- Ecotoxicidade: é relativa à ação prejudicial, algumas vezes irreversível, de substâncias tóxicas ao meio ambiente. Esta categoria pode ser definida tanto para a água como para o solo.
- Depleção de recursos: o conceito de depleção refere-se à ideia que as reservas de um recurso vão sendo diminuídas ao longo do tempo pela atividade humana, de modo a reduzir a oportunidade de acesso deste pelas futuras gerações;
- Uso da terra: corresponde ao impacto da mudança da cobertura do solo, ocasionado pela transformação de determinada área em função de alguma atividade e/ou por sua ocupação em um intervalo de tempo (o que impede seu retorno à condição natural).

5.6. Pressupostos e escolha de valores

Os pressupostos e as escolhas de valores assumidas no estudo estão apresentados em detalhes dentro de cada subsistema estudado. Estes foram realizados com base nas informações disponibilizadas nas visitas técnicas, bem como em informações encontradas em pesquisas na literatura.

Foi adotado um critério de corte para determinados materiais de pequena significância ambiental, sendo eliminados do sistema aqueles que apresentassem quantidades menores que 1,0% da massa total diretamente utilizada, de maneira que os detalhes são expostos na caracterização dos sistemas. Antes de serem eliminados, os materiais que se enquadraram neste critério de corte, foram analisados numa análise de sensibilidade para verificar seu potencial impacto no processo, e em caso de apresentarem significância ambiental, optou-se por mantê-los no inventário.

5.7. Requisitos da qualidade dos dados

O detalhamento dos parâmetros considerados para a qualidade dos dados pode ser exposto da seguinte maneira:

- a) Cobertura temporal: os dados coletados nas visitas técnicas (parte do ICV) representam o ano de 2013. Foram considerados também dados de literatura com datas variadas, contadas a partir do ano de 1997.
- b) Cobertura geográfica: as informações primárias foram obtidas de empresas com sedes em Conceição do Jacuípe/BA e Camaçari/BA. Algumas informações de literatura são do âmbito nacional. Porém, as bases de dados disponíveis no SimaPro são provenientes de diversos países.
- c) Cobertura tecnológica: pode-se afirmar que a tecnologia de produção dos postes é convencional e representa o âmbito nacional. Basicamente os postes de madeira sofrem um tratamento sob pressão, com um

preservativo de grande utilização, e os postes de concreto são fabricados pelo método de vibração do molde.

- d) Outros: conforme estabelecido na ABNT NBR ISO 14044 (2009) existem mais requisitos da qualidade dos dados (precisão, completeza, representatividade dos dados, consistência, reprodutibilidade, fontes dos dados e incertezas). Estes foram caracterizados a partir da aplicação da Matriz Pedigree, de maneira que cada dado assume um grau de incerteza da informação expresso pelo desvio padrão relativo.

5.8. Caracterização dos sistemas

Esta fase foi realizada durante a coleta e organização dos dados de entradas e saídas dos processos envolvidos no estudo. Representou a fase de maior demanda de tempo para sua realização, e como resultado obteve-se o inventário de ciclo de vida.

5.8.1. Extração de matérias primas - postes de madeira

Para a etapa de extração de matéria prima dos postes de madeira, consideraram-se dados primários e secundários. As informações referentes ao cultivo de eucalipto foram provenientes de fontes primárias, levantadas em visitas técnicas realizadas numa empresa com área plantada nas proximidades da estrada do coco no litoral norte do estado da Bahia. Considerou-se o inventário da produção de mudas de eucalipto (Figura 08) de acordo com Silva (2012).

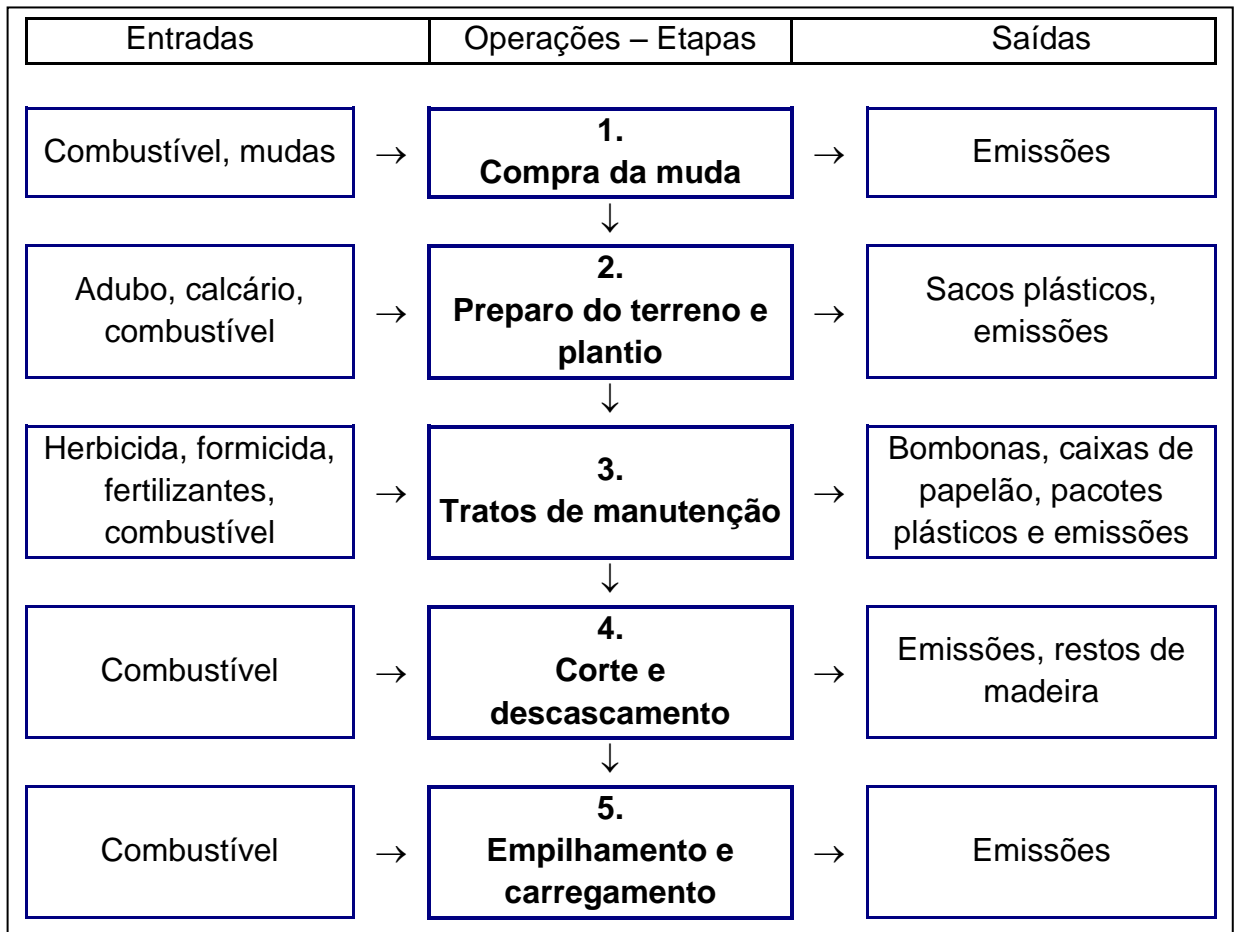
Figura 08 – Produção de mudas de eucalipto



Fonte: O autor (2014).

As demais matérias primas necessárias para fabricação dos postes de madeira foram provenientes das bases de dados disponíveis no *software* Simapro, com destaque para a base de dados do *Ecoinvent v2.2*. A Figura 09 ilustra resumidamente as entradas e saídas desta etapa.

Figura 09 - Fluxograma da agricultura do eucalipto.



Fonte: O autor (2014).

Este estudo foi desenvolvido considerando o plantio da espécie *Corymbia (Eucalyptus) citriodora*. Os dados de cultivo foram provenientes de uma empresa com área total plantada de 600 hectares, porém, para facilitar a coleta de dados, o inventário desta etapa foi organizado para um hectare.

Para as estimativas relativas aos insumos foram utilizadas notas fiscais de compras, tabelas de consumo mensal e anual da empresa e experiência dos especialistas responsáveis. Desta maneira, obteve-se o consumo de adubo, fertilizante, calcário, herbicida e inseticida (formicida).

Os insumos são consumidos principalmente nos três primeiros anos de cultivo, de maneira que nos anos seguintes são realizados somente tratamentos de manutenção manual e com tratores agrícolas, desconsiderando a utilização de insumos.

Assumiu-se que a idade de corte das árvores para a finalidade de postes deve ser a partir de nove anos. Um hectare de cultivo nestas condições gera aproximadamente $20 \text{ m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$ de madeira (o volume de madeira gerado em um hectare, por ano, é denominado "Incremento Médio Anual – IMA"). Foi considerada a densidade da madeira de $800 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, sendo que este valor está dentro da faixa encontrada por Benjamin (2006) para esta espécie.

As mudas são compradas em Inhambupe/BA e transportadas por caminhão com capacidade de carregar em média 30 mil mudas (aproximadamente 2 toneladas). Estas são acondicionadas em tubetes plásticos retornáveis e organizadas em caixas plásticas que também são retornáveis, sendo desconsiderados no inventário por serem materiais auxiliares ao cultivo e de longa durabilidade.

Para a área de 1 (um) hectare, planta-se em média 1500 mudas (espaçamento de $3,5 \times 1,9$ metros, por exemplo). O inventário da produção das mudas de eucalipto contempla o consumo de água, fertilizantes, defensivos, lubrificantes (óleos e graxas) e energia elétrica, de acordo com Silva (2012).

O plantio das mudas é realizado manualmente. No caso do replantio de eucalipto, este geralmente é realizado por rebrota. Para o preparo do terreno, subsolagem do solo (que compreende também o processo de aeração) e manutenção de aceiros, utiliza-se tratores agrícolas.

Considerou-se a aplicação de $200 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de adubo (superfosfato simples inserido na cova) durante o plantio e mais $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ um ano após o plantio. Estes são

comprados em sacos plásticos contendo 50 kg de adubo. Para o calcário, considerou-se em média $120 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ aplicados antes do plantio.

Ainda, na cobertura de sete dias após o plantio, é realizada a adubação da base com $300 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de NPK 6-30-6, e decorridos 60 dias, aplica-se $270 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de NPK 11-05-18. Para inserir estes dados no inventário, foi necessário calcular a quantidade nitrogênio, fósforo e potássio separadamente, pois o produto NPK não foi encontrado nas bases de dados disponíveis. Os cálculos estão demonstrados a seguir:

- A quantidade de $300 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de NPK 6-30-6 é representada pela soma de 18 kg de N, 90 kg de P, 18 kg de K e o restante de material inerte. Para alcançar estes valores estima-se que são necessários 40 kg de ureia (45% de N), 500 kg de superfosfato simples (18% de P_2O_5) e 30 kg de cloreto de potássio (60% de K_2O).
- A quantidade de $270 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de NPK 11-5-18 é representada pela soma de 30 kg de N, 14 kg de P, 49 kg de K e o restante de material inerte. Para alcançar estes valores estima-se que são necessários 66 kg de ureia (45% de N), 75 kg de superfosfato simples (18% de P_2O_5) e 81 kg de cloreto de potássio (60% de K_2O).

É de se notar que a utilização destes insumos gera emissões para o meio ambiente. A estimativa destas emissões é bastante complexa já que dependem das condições do solo local, espécie cultivada, quantidade de fertilizante e etc.

Basicamente as emissões atmosféricas estimadas nesta etapa são aquelas que decorrem do uso de fertilizantes nitrogenados (NH_3 e N_2O) e da aplicação de calcário no solo (liberando CO_2). O uso de fertilizantes também proporciona a liberação de poluentes para a água. Desta maneira, buscou-se por dados da literatura para contabiliza-las. As emissões provenientes do transporte de carga já estão contidas nos próprios processos de transporte utilizados do banco de dados.

Do total de nitrogênio utilizado (48 kg do NPK), de acordo com Silva (2010), estima-se que aproximadamente 15% (7,2 kg) sofre volatilização como amônia, 2% (0,96 kg) é emitido como N_2O pela desnitrificação e 20% (9,6 kg) é emitido para a água por meio de lixiviação (ou percolação) e escoamento superficial.

A utilização de fertilizantes fosfatados, também de acordo com Silva (2010), pode emitir 5% do total aplicado para a água por meio de escoamento superficial. Desta maneira, em relação aos 104 kg de fósforo consumidos no NPK, estima-se a emissão para a água desta substância de 5,2 kg.

No que diz respeito à aplicação de calcário, de acordo com IPCC (2006), pode-se assumir que 13% do calcário consumido são liberados para a atmosfera na forma de carbono. A eq.(2) representa o cálculo para a estimativa da emissão CO₂ gerada pela aplicação de calcário no solo:

$$EC = QA \times 0,13 \times \frac{44}{12}$$

Onde:

EC = emissão do calcário (kg.CO₂)

QA = quantidade aplicada (kg)

44/12 - fator de conversão de C para CO₂

A partir da equação conclui-se que os 120 kg de calcário aplicados em um hectare podem emitir aproximadamente 57 kg de CO₂.

No que diz respeito ao transporte, foi inserido no inventário da etapa de cultivo de eucalipto, o deslocamento das mudas, fertilizantes, adubo e calcário, levando-se em consideração o peso das cargas em toneladas e as distâncias percorridas em quilômetros (t.km). O transporte dos demais insumos foi desconsiderado nesta etapa por representarem menos de 1% da massa total do sistema analisado.

A distância entre os locais de fabricação dos insumos e a área de cultivo foi obtida através do Google Earth. Considerou-se que o fertilizante (NPK) e o adubo (superfosfato simples) são fabricados em Camaçari/BA, na mesma região de cultivo, sendo estimada uma distância de 30 km para o transporte destes materiais. O calcário é produzido em Alagoinhas/BA, distanciando aproximadamente 83 km do local de plantio.

Para o uso de herbicida (glifosato), considerou-se em média 4 kg.ha⁻¹, com aplicação no primeiro e segundo ano. Este componente é fornecido em bombonas que após utilização são encaminhadas para coleta em Feira de Santana/BA. No

inventário as bombonas não foram consideradas, somente o deslocamento para destinação após o consumo.

Para o uso de formicida, considerou-se em média $2,5 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ aplicados geralmente até o terceiro ano. O produto é fornecido em caixa de papelão contendo 50 pacotes plásticos de 500g de produto. As embalagens destes produtos, juntamente com as embalagens dos fertilizantes, são encaminhadas para o Instituto Nacional de Processamento de Embalagens Vazias (INPEV) em Conceição do Jacuípe/BA. No inventário foi contabilizado o deslocamento para destinação destas embalagens após o consumo.

As emissões referentes ao uso de pesticidas (herbicida e formicida) foram contabilizadas de acordo com Sugawara (2012), assumindo que toda quantidade aplicada acaba por atingir o meio ambiente na forma de emissões para o solo, ou seja, considerou-se a emissão de 4 kg de herbicida (glifosato) e 2,5 kg de formicida.

A quantidade de CO_2 sequestrada pelas árvores durante seu crescimento foi estimada de acordo com a metodologia do IPCC (2006). O carbono estocado nos galhos e raízes foi desconsiderado, sendo calculada somente a quantidade estocada nos troncos das árvores. A estimativa é baseada de acordo com a eq.(3):

$$CB = V \times D \times CF \times \frac{44}{12}$$

Onde:

CB = estoque de carbono (tCO_2)

V = volume de madeira (m^3)

D = densidade do eucalipto (t/m^3)

CF = fração de carbono em matéria seca = 0,47

44/12 - fator de conversão de C para CO_2

Desta maneira, tem-se que o volume de madeira gerado por hectare de eucalipto citriodora em 9 anos é de 180 m^3 ($\text{IMA} = 20 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$). De acordo com Andrade *et al.* (2009), aproximadamente 2% deste volume é representado pelas cascas do tronco e galhos. Como esses resíduos são depositados no próprio terreno para cobertura do solo, este material sofre rápida decomposição e devolve o carbono sequestrado para a atmosfera. Com isso, esta parcela não foi considerada no

cálculo do estoque de carbono (CB). A partir destas informações, considerando a densidade de 800 kg.m^{-3} , o valor de CB para um hectare de eucalipto citriodora durante nove anos é de 243 toneladas de CO_2 .

Neste estudo considerou-se o solo em que é realizado o plantio como parte da tecnosfera, ou seja, a área utilizada já não é mais um sistema natural e está destinada a sistemas de produção, para fins econômicos. Assim, assumiu-se não ser necessário desmatar o terreno para o plantio. Também não foi considerado sistemas de rotação de culturas. Desta maneira, considerou-se a transformação da terra de pastagem para floresta plantada e a ocupação do terreno por nove anos (tempo mínimo de corte do eucalipto para postes).

Foram excluídos do subsistema de cultivo do eucalipto os pacotes plásticos das embalagens dos insumos, de acordo com o critério de corte, já que a quantidade destes materiais representa menos de 1% da massa total. De acordo com este critério, deveria ser excluído também o consumo de formicida e herbicida, bem como as emissões atmosféricas, porém decidiu-se mantê-los pela significância ambiental.

Ressalta-se que não foi contabilizado o uso de óleos lubrificantes por serem consumidos indiretamente ao sistema de cultivo. Não foi considerado nenhum volume de água para irrigação, já que esta prática não é necessária no local.

As técnicas e as quantidades de insumos relativas ao cultivo do eucalipto podem sofrer variações a depender da espécie e do local selecionado, devido às características climáticas, tipo de solo e etc.

Nesta empresa, a partir do 4° ou 5° ano ocorre o primeiro corte para madeiras com finalidades como caibros, estacas, etc., retirando aproximadamente dois terços de um hectare.

O corte é intercalado, de maneira que as árvores retiradas abrem clareiras para que as árvores restantes possam se desenvolver melhor (sem competição por luz). Com isso, neste mesmo hectare, as demais árvores restantes serão cortadas a partir do nono ano (podendo chegar até 19 anos, a depender do diâmetro necessário), para finalidades diversas, incluindo os postes. Porém, como o produto proveniente do cultivo de eucalipto é o mesmo (truncos de madeira), mas com diferentes diâmetros, considerou-se neste estudo que não há alocação, ou seja, não há a geração de subprodutos.

Foi contabilizado que o cultivo de um hectare de eucalipto pode gerar 144.000 kg de madeira ($20 \text{ m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$ por nove anos; densidade $800 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$), o equivalente a pouco mais de 400 postes nas dimensões de 11 m e peso de 342 kg. Isto resulta que para a produção de um poste, necessita-se de uma área de aproximadamente 25 m^2 .

Para o corte das árvores de eucalipto, considerou-se a utilização de duas motosserras trabalhando por aproximadamente 8 h por dia durante dois dias para cortar um hectare. Com isso, cada motosserra funciona por 16 h, totalizando 32 h.

Os troncos são descascados manualmente e no próprio terreno, bem como a retirada de galhos. Baseado na estimativa de Andrade *et al.* (2009) a respeito da quantificação deste material, estima-se que 2880 kg são depositados no próprio terreno como matéria orgânica vegetal.

Utiliza-se um trator para levar os troncos até o local de despacho e por fim é realizado o empilhamento e carregamento dos caminhões para expedição (por meio de uma grua), já que estes não podem ficar expostos no terreno sem o devido tratamento pelo risco de deterioração.

5.8.2. Produção - postes de madeira

A fabricação dos postes de madeira foi quantificada por meio de fontes primárias, levantadas em visitas técnicas realizadas numa empresa com produção média anual de 7.500 m^3 de madeira tratada, localizada no município de Camaçari/BA. A figura 10 ilustra etapas do processo produtivo.

Figura 10 – Etapas do processo produtivo dos postes de madeira

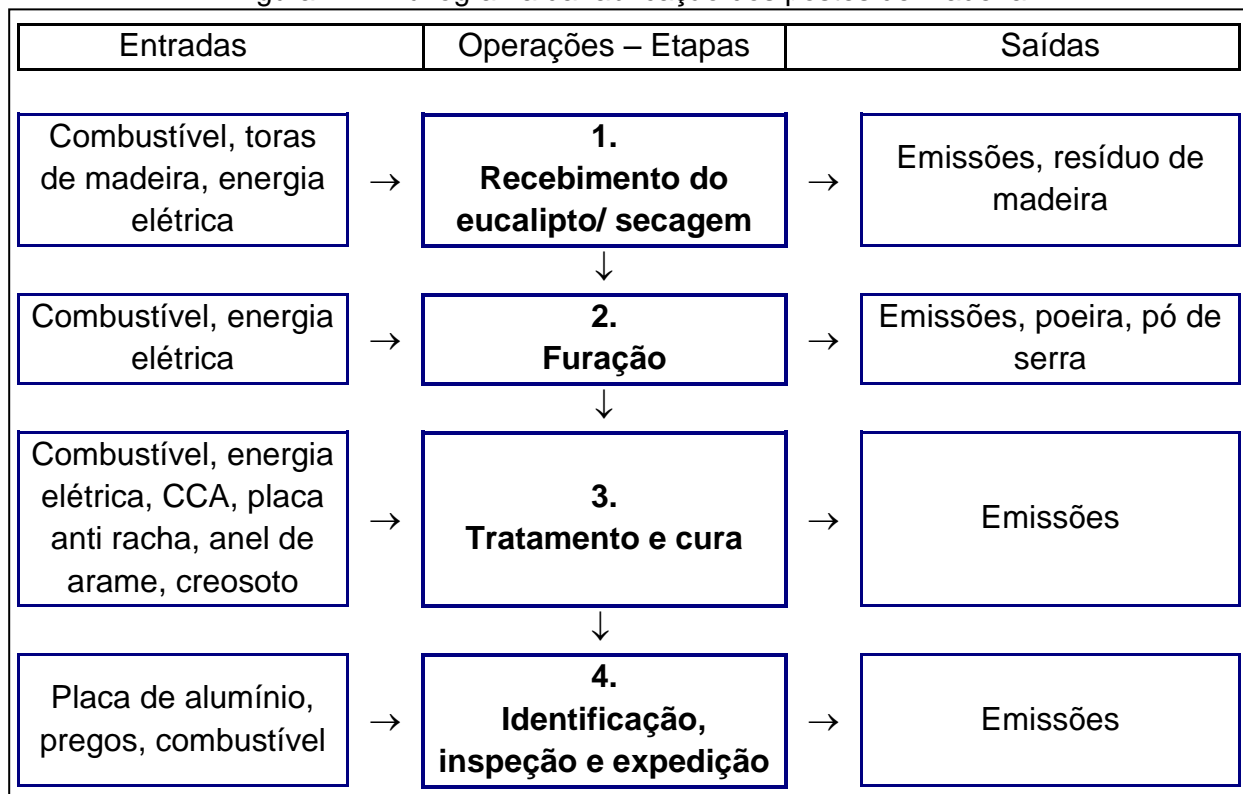


a) Tratamento sob pressão b) Movimentação com trator grua c) Secagem

Fonte: Kiperstok *et al.* (2009).

Esta etapa é sequencial ao cultivo e corte do eucalipto. Os troncos são transportados do local de plantio até a fábrica de postes, percorrendo aproximadamente 30 km (região de Camaçari/BA). A capacidade de carga do caminhão é de 24 toneladas. A figura 11 ilustra detalhadamente os subsistemas envolvidos na fabricação do poste de madeira.

Figura 11 - Fluxograma da fabricação dos postes de madeira



Fonte: O autor (2014).

Para facilitar a compreensão e comparação dos sistemas, o inventário desta etapa foi organizado para um (1) poste. O peso médio dos postes de madeira de 11 m e 400 kgf é de 342 kg.

Logo na etapa inicial de fabricação dos postes de madeira ocorre um corte (com serra elétrica) no topo e na base dos troncos retirando aproximadamente 7 kg de madeira por poste (2% do volume), para correção da altura e ajuste das peças. Este material é encaminhado para padarias e outros locais que utilizam forno à lenha. A quantidade de madeira encaminhada para as padarias é considerada como um produto evitado, já que, em grande escala, este procedimento reduz o corte de árvores de eucalipto utilizadas para lenha.

Após isto, os troncos ficam secando a céu aberto por aproximadamente 60 dias, e é realizada uma inspeção por um agente que vai até a fábrica selecionar os produtos conforme suas especificações.

Depois que os postes adquirem o teor de umidade entre 20 e 30% eles são furados de acordo com as especificações dos compradores, podendo em seguida ser encaminhados para tratamento químico. A furadeira utilizada é de $\frac{1}{4}$ CV (184 Watts) e realiza em média 10 furos em cada poste. O processo de furação e serragem dos postes gera pó de madeira. Foi estimada uma quantidade de 20 gramas deste material por poste.

Existem diversos tipos de tratamento químico para prolongamento da vida útil dos postes, citando como exemplo o CCA (base de cromo, cobre e arsênio), o CCF (base de cobre, cromo e flúor), o CCB (base de cobre, cromo e boro), o AZOLE (de utilização mais recente, a base de cobre, ácido bórico, e tebuconazole), entre outros. Este estudo deu ênfase para o CCA pelo fato da vasta utilização no Brasil por ser um produto de utilização economicamente viável.

Desta maneira, o tratamento químico da madeira é iniciado com um vácuo para abertura dos poros da madeira, facilitando a penetração da solução química. Após o completo preenchimento da autoclave com o CCA diluído em água, cessa-se o vácuo e inicia-se o processo de alta pressão (neste momento que ocorre a impregnação do preservativo nos veios da madeira). Por fim, a madeira é submetida a um novo vácuo para a retirada do excesso de produto em sua superfície, sendo

que a parte da solução que não foi impregnada retorna para os reservatórios para ser usada no próximo ciclo, de maneira que o processo não gera resíduo.

O produto químico preservativo de madeiras é acondicionado em bombonas que retornam para as fábricas produtoras (estas não foram inseridas no inventário). Foi contabilizado no inventário o transporte do CCA. Este é fabricado em São Paulo, a uma distância de aproximadamente 2.000 km de Camaçari/BA.

Somente o alburno da madeira (região periférica) é passível de receber o tratamento, já que o cerne (região central) é mais resistente ao ataque biológico, além de ser praticamente impermeável à penetração de soluções preservantes (AMARAL, 2012).

De acordo com Oliveira (1999), aproximadamente 50% do volume do tronco de eucalipto citriodora com 11 m de comprimento é composto pelo alburno. A retenção de ingrediente ativo recomendada para postes é de 9,6 kg.m³ de madeira tratável (alburno), sendo que é obtida a partir da concentração em água e do tempo de contato com a solução. Na medida em que há poros na madeira ocorre a penetração do preservante numa proporção decrescente seguindo da casca em direção ao cerne.

Considerou-se neste estudo que para 1500 litros de água, são utilizados em média 47,5 litros de CCA tipo C, sendo que este valor correspondente a aproximadamente 91 kg (em função de sua densidade). A autoclave funciona com um motor de 10 CV (7360 Watts) por aproximadamente 2,5 horas, tratando em média 30 postes.

Então, para cada poste de madeira, considerando que nem toda quantidade de solução inserida na autoclave é impregnada nos postes (pois parte retorna para o próximo ciclo), há um consumo no tratamento químico de aproximadamente 32 litros de água e 2,1 kg de CCA – C.

Posteriormente, no período de secagem a água é evaporada e o composto químico fica retido nos veios da madeira. Nesta etapa o excesso de produto contido na madeira respinga numa área pavimentada e impermeável, dotado de sistema de drenagem que leva o material escorrido até uma caixa de contenção, para reaproveitamento na autoclave no próximo ciclo de tratamento. O processo de estabilização do tratamento pode durar de 3 a 7 dias a depender das condições ambientes.

A identificação dos postes é feita a partir da fixação (pregos) de uma placa de alumínio de dimensões 6x6x0,01 cm³. Para controlar as rachaduras, coloca-se uma placa anti-racha de aço galvanizado no fundo e um anel de arame no topo dos postes. A massa utilizada de aço e alumínio por cada poste de madeira foi estimada em respectivamente 100 g e 10 g.

Utiliza-se uma pequena quantidade de creosoto para pintar as extremidades do topo e da base dos postes contribuindo para retardar o processo de deterioração. Esta quantidade foi estimada em 50 g por poste.

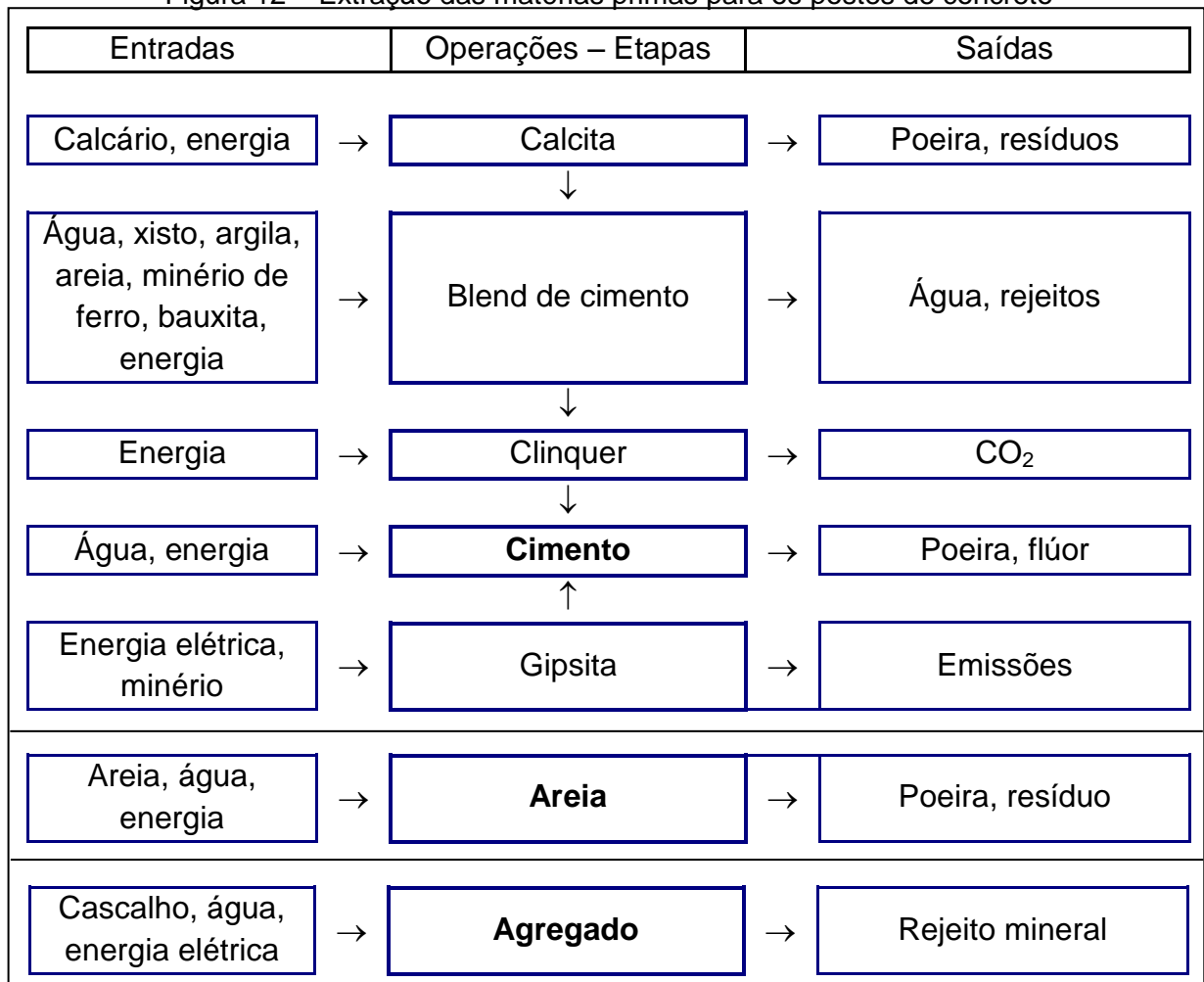
Ao longo de todo o processo de fabricação, utiliza-se um trator tipo grua para realizar o transporte interno e o empilhamento dos postes, sendo que foi considerado no inventário a distância percorrida na fábrica e o peso de um poste. O consumo de energia elétrica foi estimado em função da potência e tempo de uso dos maquinários, resultando num total nesta etapa de 0,72 kWh para cada poste.

Foram excluídas do subsistema de produção dos postes de madeira as embalagens dos insumos (pacotes plásticos e latas metálicas), de acordo com o critério de corte, já que a quantidade destes materiais representa menos de 1% da massa total. De acordo com este critério, deveria ser excluído também o consumo de creosoto, aço galvanizado e alumínio, bem como as emissões atmosféricas, porém decidiu-se mantê-los pela significância ambiental.

5.8.3. Extração de matérias primas - postes de concreto

Na etapa de extração de matérias primas dos postes de concreto, considerou-se o inventário da areia, cimento (e os componentes que o compõem) e brita (agregado) de acordo com Yokote (2003). As entradas e saídas envolvidas estão apresentadas na figura 12. As demais matérias primas necessárias para a fabricação dos postes de concreto foram provenientes das bases de dados do *Ecoinvent v2.2*.

Figura 12 – Extração das matérias primas para os postes de concreto



Fonte: O autor (2014).

5.8.4. Produção – postes de concreto

A produção dos postes de concreto foi quantificada por meio de fontes primárias, levantadas em visitas técnicas. A empresa possui sede no município de Conceição do Jacuípe/BA e tem produção média anual de 21.240 postes de concreto.

O quantitativo das matérias primas dos postes de concreto depende da relação entre o comprimento e esforço do poste a ser produzido, entretanto todas as relações passam pelo mesmo procedimento operacional. A figura 13 mostra etapas deste processo.

Figura 13 – Etapas do processo produtivo dos postes de concreto DT



a) Formas postes DT



b) Cura inicial

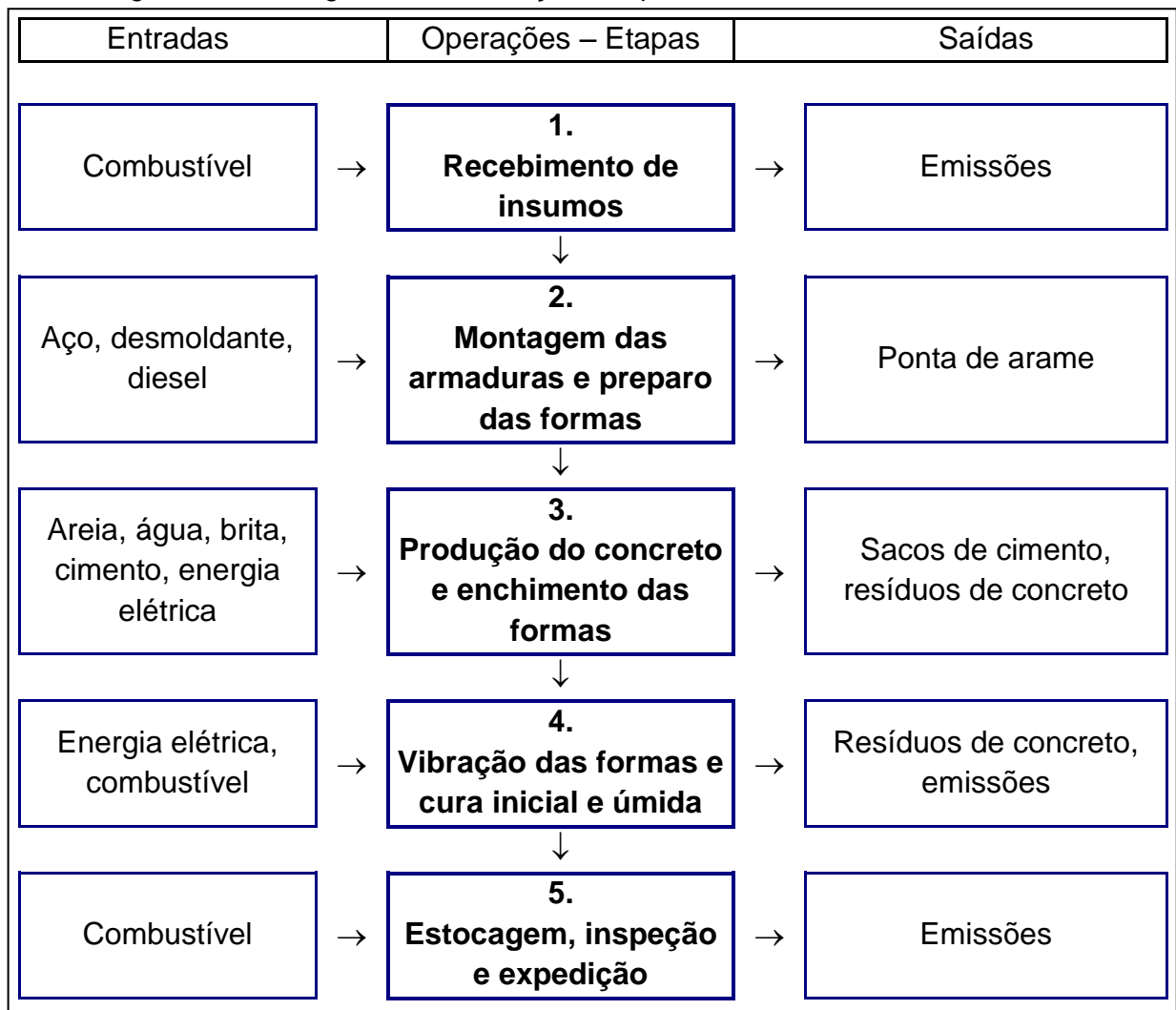


c) Postes DT

Fonte: Kiperstok *et al.* (2009).

A quantificação dos dados do inventário foi realizada na base de um (1) poste para facilitar a compreensão e comparação dos sistemas. São realizadas inspeções na fábrica para verificação da qualidade da produção. O fluxograma da produção dos postes de concreto está representado na figura 14.

Figura 14 – Fluxograma da fabricação dos postes de concreto



Fonte: O autor (2014).

A fabricação dos postes de concreto é feita basicamente a partir da mistura de areia, cimento, água e brita. A empresa faz o pedido dos insumos e os recebe no pátio da fábrica. O deslocamento percorrido para os insumos chegaram até a fabrica foi estimado. O cimento é fabricado em Candeias/BA e percorre aproximadamente 280 km. A areia e brita é extraída na região metropolitana de Salvador, percorrendo aproximadamente 60 km.

Primeiramente são montadas as armaduras de aço. O aço é recebido em bobinas, sendo desbobinado por meio de um equipamento composto por motor de 8 CV que trabalha aproximadamente 8h por dia para produção de 60 postes. Para cada poste duplo T com comprimento e esforço de 11/400, utiliza-se 61 kg de aço. Durante a

montagem, utiliza-se arame recozido para ligar uma barra à outra, e admitiu-se uma perda de 40 g de arame recozido por poste.

Antes de inserir o concreto nas formas elas são limpas e aplica-se aproximadamente 250 ml de desmoldante, que é composto por uma mistura de estearina (0,8%) e diesel (99,2%). Feito isso a armadura é posicionada e a forma está pronta para receber o concreto e ser fechada. No inventário a estearina foi desconsiderada em função de a quantidade utilizada ser pouco representativa, de acordo com o critério de corte.

Um traço nesta fábrica corresponde a aproximadamente 118 kg de areia, 32 litros de água, 230 kg de brita e 65 kg de cimento. Para a produção de um poste duplo T de 11m de comprimento e esforço 400kgf, utiliza-se 2,3 traços, aproximadamente 1024 kg de concreto. Este valor somado à quantidade de aço utilizada é o equivalente ao peso médio de um poste de concreto DT nestas dimensões, aproximadamente 1085 kg.

Assim, os materiais são inseridos numa central de mistura (funciona 5h por dia com motor de 25 CV produzindo 60 postes) para que possam ser injetados na forma. Depois da aplicação, as formas são vibradas (motor de 8 CV funcionando por 5h por dia para produção de 60 postes) para que ocorra o total preenchimento de concreto. Admitiu-se a geração de resíduos de concreto na ordem de 1% da massa produzida (YOKOTE, 2003). Assim, para cada poste produzido, aproximadamente 10,2 kg de resíduos de concreto são gerados e encaminhados para aterro industrial.

O cimento é recebido em sacos de 50 kg, e os demais materiais são descarregados diretamente no pátio da fábrica, dispensando a utilização de embalagens. O abastecimento dos silos é realizado com o auxílio de um trator.

A emissão de material particulado foi admitida em função do manuseio de cimento. Estima-se a geração de 0,1% de material particulado em relação à massa utilizada deste componente. Sendo assim, como são utilizados aproximadamente 150 kg de cimento por poste, considerou-se a emissão para o ar de 150 g de material particulado.

Após a completa vibração do concreto na forma, ocorre cura inicial por aproximadamente 12 horas, até que se adquira resistência suficiente para que seja

removido com segurança do molde e encaminhado até a área de cura úmida (aproximadamente 7 dias).

Para a identificação dos postes utiliza-se uma pequena quantidade de tinta PVA para pintar informações úteis, como ano de fabricação, tamanho e esforço nominal. Porém pela pequena quantidade utilizada, este componente foi desconsiderado no inventário de acordo com o critério de corte.

Ao longo de todo o processo de fabricação, utiliza-se um trator para realizar o transporte interno de materiais, bem como o empilhamento dos postes, sendo que foi considerado no inventário a distância percorrida na fábrica e o peso de um poste.

O consumo de energia elétrica foi estimado em função da potência e tempo de uso dos maquinários, resultando num total nesta etapa de 2,8 kWh para cada poste.

Foram excluídas do subsistema de produção dos postes de concreto as embalagens do cimento (sacos de papelão) e a estearina (desmoldante), de acordo com o critério de corte, já que a quantidade destes materiais representa menos de 1% da massa total. De acordo com este critério, deveria ser excluído também o consumo de diesel, bem como as emissões atmosféricas e os resíduos metálicos, porém decidiu-se mantê-los pela significância ambiental.

5.8.5. Transporte

O transporte das matérias primas elementares foi inserido no inventário, de acordo com os processos existentes no banco de dados do *Ecoinvent v2.2*, a partir das seguintes características: tipo de veículo, capacidade de carga e distância percorrida. Os impactos da queima dos combustíveis estão inclusos nos processos. As estimativas foram realizadas baseando-se nas informações levantadas nas visitas técnicas.

Na etapa de cultivo do eucalipto, incluiu-se o transporte das mudas, dos fertilizantes e do calcário. Também foi considerado o transporte da destinação das embalagens vazias do herbicida e formicida (por isso não há carga transportada), conforme apresentado na tabela 25.

Tabela 25 – Materiais transportados na etapa de cultivo de eucalipto

Produto	Distância Percorrida (Km)	Tipo de Veículo	Carga transportada (t)
Mudas de eucalipto	120	Caminhão	2
Adubo (superfosfato simples)	30	Caminhão	6
NPK 6-30-6	30	Caminhão	6
NPK 11-5-18	30	Caminhão	6
Calcário	83	Caminhão	6
Herbicida (destinação embalagem)	100	Carro de passageiro	-
Formicida (destinação embalagem)	83	Carro de passageiro	-

Assim, o valor inserido no inventário é o produto da distância percorrida pela carga transportada dividida pela quantidade de insumo consumida por poste. O deslocamento que diz respeito ao preparo do solo e aplicação de fertilizantes foi contabilizado de acordo com os processos do *Ecoinvent v2.2*.

Da mesma maneira, estimou-se o transporte na etapa de produção dos postes de madeira, incluindo o deslocamento dos troncos do local de plantio até a fábrica (após o corte das árvores), o transporte do preservativo de madeira, bem como as movimentações dentro dos limites da fábrica realizadas por trator com grua, conforme mostrado na tabela 26.

Tabela 26 – Materiais transportados na fabricação dos postes de madeira

Produto	Distância Percorrida (Km)	Tipo de Veículo	Carga transportada (t)
Troncos de eucalipto	30	Caminhão	24
CCA – C	2.000	Caminhão	16
Movimentação interna	0,1	Trator	0,342

No caso dos postes de concreto estimou-se a distância que a areia, brita e cimento percorre para chegar até o local de fabricação. Além disso, foram incluídas as movimentações dentro dos limites da fábrica realizadas por trator convencional, conforme mostrado na tabela 27.

Tabela 27 – Materiais transportados na fabricação dos postes de concreto

Produto	Distância Percorrida (Km)	Tipo de Veículo	Carga transportada (t)
Areia	60	Caminhão	6
Brita	60	Caminhão	6
Cimento	280	Caminhão	16
Movimentação interna	0,1	Trator	1,085

5.8.6. Uso e manutenção

Na etapa de uso e manutenção, considerando 1 km de rede funcionando num período de 30 anos, foram consideradas as substituições dos postes quando estes chegam ao fim da vida útil. Assim, foi assumida a necessidade de 50 postes de madeira (tempo de vida útil de 15 anos) e 25 postes de concreto (tempo de vida útil de 30 anos) para sustentar a rede neste período.

O deslocamento considerado nesta etapa é referente à instalação dos postes e às substituições necessárias. A estimativa tomou como base a distância entre o almoxarifado da Coelba localizado no bairro Pirajá e o bairro Itapuã, situados em Salvador/BA (Itapuã foi selecionado aleatoriamente para caracterizar o deslocamento da manutenção). Considerou-se também que são transportados 5 postes de cada vez no caminhão. A distância estimada em 30 km será a mesma para o poste de madeira e para o poste de concreto. Ou seja, para a instalação de cinco postes, serão percorridos 30 km. A cada substituição que for necessária, serão percorridos 60 km (30 km de ida para instalar os novos postes e 30 km de volta para levar ao almoxarifado os postes substituídos).

A distância total percorrida nesta etapa foi quantificada baseando-se no número de substituições necessárias para cada tipo de poste e levando em conta o retorno do caminhão carregado ao local de origem. A carga transportada corresponde ao peso de cinco postes. A tabela 28 ilustra o transporte dos postes na etapa de uso e manutenção.

Tabela 28 – Transporte dos postes na etapa de uso e manutenção

Produto	Distância total Percorrida (Km)	Tipo de Veículo	Carga transportada (Kg)
Poste de Madeira	600	Caminhão Munck	1710
Poste de Concreto	300	Caminhão Munck	5425

Neste estudo não foram consideradas outras entradas no que diz respeito ao uso e manutenção dos postes, como por exemplo, o retratamento da base dos postes de madeira, comum em outros países. Porém, foi estimada a lixiviação do CCA para o solo ao longo do tempo, promovido durante o uso dos postes. A quantidade de preservativo que é lixiviada depende de determinadas condições, como por exemplo, o índice pluviométrico e temperatura do local, o tipo de preservativo e retenção utilizada, a espécie que deu origem à madeira, o tipo de solo em contato com o poste, entre outros (WALDRON, 2004).

De acordo com Hedley (1997) a porcentagem de componentes lixiviada é de aproximadamente 2,4% de Cu, 0,36% de Cr e 9,45% de As em relação à quantidade de CCA impregnada nos postes. Com isso, como foi considerado que cada poste de madeira teve aproximadamente 2,1 kg de preservativo impregnado, o potencial de lixiviação deste poste é de 0,05 kg de Cu, 0,0076 kg de Cr e 0,20 kg de As.

5.8.7. Disposição final

Como última etapa, esta fase representa o fim de vida para os componentes substituídos. A destinação final varia em função da sua potencialidade de aproveitamento. Não foi considerado o transporte desta etapa.

Para o caso dos postes de madeira, no período considerado, estima-se que 50 postes atingiram o fim da vida útil. Aproximadamente 20% dos postes de madeira após o fim de vida útil são descartados sem possibilidade de reaproveitamento. Os demais 80% dos postes de madeira são reaproveitados como mourões (estaca, base para cerca) após o fim de vida útil. Porém, o reaproveitamento dos postes é parcial, de maneira que aproximadamente 18% da massa de cada um são descartados, representando a base do poste deteriorada (estimativa realizada pela

própria empresa visitada que recebe os postes após a vida útil da concessionária de energia do estado).

Com isso, a prática de reaproveitamento dos postes após o fim da vida útil foi contabilizada no inventário como produtos evitados, já que uma nova árvore não precisará ser derrubada para a fabricação destes mourões. Sendo assim, considerando um poste de 342 kg e 11 m de comprimento, estima-se que aproximadamente 1,6 m devem ser enterrados para sua fixação no terreno. Para a reutilização deste poste, a parcela da base que tinha contato com o solo será descartada (aproximadamente 62 kg), restando aproximadamente 280 kg de madeira (por poste) para reaproveitamento.

Desta maneira, considerando 50 postes de madeira (peso estimado de 17100 kg) retirados de serviço (vida útil de 15 anos), aproximadamente 11200 kg serão reaproveitados e 5900 serão encaminhados para aterro industrial de classe I, por se tratarem de resíduos perigosos de acordo com a NBR 10004 (2004), pois o material está contaminado com substância tóxica.

Para o caso dos postes de concreto, no período considerado, estima-se que 25 postes atingiram o fim da vida útil. O poste é processado sendo que o aço é encaminhado para reciclagem, e o concreto é destinado a aterro industrial, classificado como resíduo de classe II B – inertes de acordo com a NBR 10004 (2004). Sendo assim, o cenário de fim de vida foi montado da seguinte maneira:

- Reciclagem do aço: são 61 kg de aço por cada poste de concreto, totalizando 1525 kg de sucata.
- Aterro industrial: são 1024 kg de concreto por poste, totalizando 25600 kg de concreto descartados.

5.9. Incerteza da informação

Existem diversas fontes de incertezas nos estudos de ACV, incluindo a incerteza tipo A (variabilidade estatística) e tipo B (devido ao método e instrumento de medição). Este estudo deu ênfase à análise de incerteza nos dados do inventário e à análise de sensibilidade.

Desta maneira, através dos valores inseridos no inventário, buscou-se estimar seus respectivos desvios padrões através da aplicação da matriz de qualidade de dados (matriz Pedigree) proposta inicialmente por Weidema e Wesneis (1996), com o auxílio de especialistas da área. Feito isto, se aplicou a técnica de Monte Carlo (presente no *software Simapro*) para a determinação da propagação desta incerteza nos resultados, com um coeficiente de confiança de 95% e realizadas 10.000 iterações.

5.9.1. Matriz de qualidade de dados (matriz pedigree)

A Matriz de qualidade de dados está representada no quadro 01, bem como os indicadores que a compõem. Cada indicador recebe uma avaliação de 1 a 5, sendo que 1 representa o melhor e 5 o pior grau de qualidade da informação. O uso da matriz de qualidade de dados irá necessariamente envolver julgamentos subjetivos, que irão depender da base de conhecimentos da pessoa que utiliza a ferramenta (BENEDET Jr., 2007). Por isso, a pesquisa contou com reuniões do grupo de ACV da UFBA para o julgamento dos fatores utilizados, a fim de contribuir para a redução da subjetividade do método.

Quadro 01 - Matriz de qualidade dos dados (matriz pedigree)

Pontuação do indicador	1	2	3	4	5
U1 Confiança na fonte	Dados verificados baseados em medidas	Dados verificados parcialmente baseados em estimativas ou dados não verificados baseados em medidas	Dados não verificados parcialmente baseados em estimativas qualificadas	Estimativa qualificada ou dados derivados de informações teóricas	Estimativa não qualificada
	1,00	1,05	1,10	1,20	1,50
U2 Completeza	Dados representativos para um número relevante de empresas durante um período que permita eliminar flutuações	Dados representativos de > 50% do mercado durante um período que permita eliminar flutuações	Dados representativos para uma fatia pequena de empresas, mas relevante para o mercado em estudo ou dados de mais de 50% de empresas por um curto período de tempo	Dados representativos para somente uma empresa relevante para o mercado considerado	Representatividade desconhecida ou dados de um pequeno número de empresas em um curto período de tempo
	1,00	1,02	1,05	1,10	1,20
U3 Correlação Temporal	Menos de 3 anos de diferença para o ano de referência	Menos de 6 anos de diferença para o ano de referência	Menos de 10 anos de diferença para o ano de referência	Menos de 15 anos de diferença para o ano de referência	Data desconhecida ou mais de 15 anos de diferença para o ano de referência
	1,00	1,03	1,10	1,20	1,50
U4 Correlação Geográfica	Dados da área em estudo	Dados médios de uma área maior que a área de estudo	Dados de uma área menor que a do estudo ou dados de uma área similar		Dados desconhecidos ou dados de área distinta a área de estudo
	1,00	1,01	1,02		1,10
U5 Correlação Tecnológica	Dados de empreendimentos, processos e matérias do estudo		Dado de processos ou materiais correlatos, mas mesma tecnologia ou dados de processos e materiais do estudo, mas de diferente tecnologia	Dado de processos ou materiais correlatos, mas diferente tecnologia ou dados de escala laboratorial e mesma tecnologia	Dados de processos ou materiais correlatos, mas com diferente tecnologia e em escala laboratorial
	1,00		1,20	1,50	2,00
U6 Número de amostras	> 100 medidas contínuas, balanço de produtos comprados	> 20	> 10, figuras de relatórios ambientais	≥ 3	Desconhecido
	1,00	1,02	1,05	1,10	1,20

Fonte: PRé Consultants (2010).

Portanto, as incertezas podem ser caracterizadas por diferentes indicadores. Para cada um dos seis indicadores de qualidade de dados foi atribuída uma pontuação com seu respectivo fator de incerteza (expresso como seu grau de contribuição da incerteza acumulada em todos os indicadores), baseado em julgamentos feitos pelo grupo de ACV da UFBA.

Desta maneira, também foram inseridos os fatores básicos de incerteza relativos às entradas e saídas para os diferentes fluxos elementares (aspecto ambiental) considerados. A incerteza básica foi baseada em pareceres de peritos no assunto, de maneira que os elementos recebem fatores menores ou maiores em função da facilidade ou dificuldade de sua estimativa. O quadro 02 mostra os fatores básicos de incerteza para diversos fluxos elementares.

Quadro 02 - Fatores básicos de incerteza (sem dimensão)

Grupo de entradas/ saídas	Incerteza básica-UB
Demanda de:	
Energia térmica, eletricidade, produtos semi-terminados, materiais de trabalho, serviços de tratamento de resíduos	1,05
Serviços de transporte	2,00
Infraestrutura	3,00
Recursos:	
Energia primária transportada, metais, sais	1,05
Uso do solo, ocupação	1,50
Uso do solo, transformação	2,00
Resíduos de calor:	
Emissões para o ar, água e solo	1,05
Poluentes emitidos na água:	
DBO, OD, COD, COT, compostos inorgânicos (NH ₄ , PO ₄ , NO ₃ , Cl, Na, etc.)	1,50
Hidrocarbonetos individuais, HPA	3,00
Metais pesados	5,00
Provenientes da agricultura: Pesticidas	1,50
Provenientes da agricultura: NO ₃ , PO ₄	1,50
Provenientes da agricultura: Metais pesados	1,80
Radionuclídeos	3,00
Poluentes emitidos no solo:	
Óleo, hidrocarbonetos, metais pesados	1,50
Radionuclídeos	3,00
Pesticidas	1,20
Poluentes emitidos no ar:	
CO ₂ , SO ₂	1,05
Combustão: compostos orgânicos voláteis (não metano), NO _x , N ₂ O, CH ₄ , NH ₃	1,50
Combustão: Hidrocarbonetos individuais	1,50
Material particulado (MP10)	2,00
Material particulado (MP2,5)	3,00
Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA)	3,00
Combustão: CO, metais pesados	5,00
Emissões de processos: COVs	2,00
Emissões de processos: CO ₂	1,05
Emissões de processos: outras emissões inorgânicas	1,50
Proveniente de agricultura: CH ₄ , NH ₃	1,20
Proveniente de agricultura: NO _x , N ₂ O	1,40

Fonte: PRé Consultants (2010).

Uma vez avaliada a pontuação do indicador (quadro 01), seu respectivo fator de incerteza e o fator básico de incerteza (quadro 02) pode-se determinar o grau de incerteza (intervalo de 95% - SD₉₅), calculado através da eq.(4) (BENEDET Jr., 2007):

$$SD_{g95} = \sigma_g^2 = \exp^{\sqrt{[\ln(U_1)]^2 + [\ln(U_2)]^2 + [\ln(U_3)]^2 + [\ln(U_4)]^2 + [\ln(U_5)]^2 + [\ln(U_6)]^2 + [\ln(U_b)]^2}}$$

Onde:

U_1 = Fator de incerteza do indicador Confiança na Fonte;

U_2 = Fator de incerteza do indicador Completeza;

U_3 = Fator de incerteza do indicador Número de Amostras;

U_4 = Fator de incerteza do indicador Correlação Temporal;

U_5 = Fator de incerteza do indicador Correlação Geográfica;

U_6 = Fator de incerteza do indicador Correlação Tecnológica;

U_b = Fator de incerteza básico.

Fonte: PRé Consultants (2010); Benedet Jr. (2007) .

A aplicação da eq.(4) permitiu obter os valores do desvio padrão relativo, apresentados no inventário do ciclo de vida juntamente com as pontuações atribuídas aos fatores e a incerteza básica.

Com relação à obtenção do erro estocástico, assumiu-se que as distribuições são do tipo lognormal, conforme recomendada por PRé Consultants (2010), muito comum em estudos de ACV. Esta distribuição ocorre quando valores de uma distribuição normal são multiplicados.

5.9.2. Análise de Sensibilidade

Esta técnica é realizada para verificar a influência das suposições sobre o resultado final de uma ACV. A proposta é modificar as suposições realizadas no estudo e recalcular a ACV, para analisar as diferenças proporcionadas por esta modificação.

Este tipo de análise proporciona um melhor entendimento da magnitude do efeito das suposições realizadas. A análise pode ser realizada em qualquer das 4 fases da ACV. O resultado da ACV pode ser fortemente dependente de determinadas suposições.

Desta maneira, decidiu-se realizar a análise de sensibilidade nos seguintes parâmetros: deslocamento percorrido pelo transporte de cargas, o uso de insumos agrícolas, taxa de retenção de CCA-C, consumo de clínquer na produção de

cimento, destinação final dos resíduos de concreto e, conforme o objetivo deste estudo, o tempo de vida útil dos postes.

5.10. Resultados da ACV - Inventário do Ciclo de Vida

A partir do levantamento de dados, foi desenvolvido o ICV dos postes. As tabelas apresentadas a seguir relacionam as entradas e saídas de materiais e energia relativas aos processos que envolvem a extração de matérias primas, produção, uso e disposição final dos postes.

Para inserir os dados no *software* Simapro, se faz necessário a criação dos processos a partir do levantamento dos dados ou a busca pelo processo correspondente nas bases de dados disponíveis. Por isso, foi inserida a coluna “material ou processo da base de dados”.

Os valores de desvio padrão relativo foram obtidos a partir da aplicação da matriz pedigree (quadro 01), sendo apresentada inclusive uma coluna com os vetores selecionados e outra com os fatores básicos de incerteza (UB), encontrados no quadro 02.

5.10.1. Postes de madeira

O inventário da produção de mudas de eucalipto se encontra na tabela 29, adaptado de Silva (2012). O produto final é 103 kg de mudas, o equivalente à aproximadamente 1500 mudas de eucalipto citriodora (quantidade consumida no cultivo de um hectare).

Tabela 29 – Inventário da produção de mudas de eucalipto (continua)

Produto final: mudas de eucalipto (103 kg)							
Entradas (recursos naturais)	Quantidade	Unidade	Material ou processo da base de dados	Origem da informação	Vetor pedigree	Incerteza básica	Desvio padrão relativo
Resíduos de madeira	29	kg	<i>Wood and wood waste, 9,5 MJ per kg</i>	Silva (2012)	(4,3,1,2,3,4)	1,05	1,193
Entradas (materiais e combustíveis)	Quantidade	Unidade	Material ou processo da base de dados	Origem	Vetor pedigree	Incerteza básica	Desvio padrão relativo
Diesel	13,56	kg	<i>Diesel, at regional storage/CH U¹</i>	Silva (2012)	(4,3,1,2,3,4)	1,05	1,193
Lubrificantes (óleos e graxas)	0,01	kg	<i>Lubricating oil, at plant/RER U¹</i>	Silva (2012)	(4,3,1,2,3,4)	1,05	1,193
Herbicida (glifosato)	0,03	kg	<i>Glyphosate, at regional storehouse/RER U¹</i>	Silva (2012)	(4,3,1,2,3,4)	1,05	1,193
Água	1.000	kg	<i>Tap water, at user/RER U¹</i>	Silva (2012)	(4,3,1,2,3,4)	1,05	1,193
Nitrogênio (NPK)	0,07	kg	<i>Ammonium sulphate, as N, at regional storehouse/ RER U¹</i>	Silva (2012)	(4,3,1,2,3,4)	1,05	1,193
Fósforo (NPK)	0,43	kg	<i>Single superphosphate, as P₂O₅, at regional storehouse/RER U¹</i>	Silva (2012)	(4,3,1,2,3,4)	1,05	1,193
Potássio (NPK)	0,84	kg	<i>Potassium chloride, as K₂O, at regional storehouse/RER U¹</i>	Silva (2012)	(4,3,1,2,3,4)	1,05	1,193

Tabela 29 – Inventário da produção de mudas de eucalipto (continuação)

Saídas (emissões para o ar)	Quantidade	Unidade	Material ou processo do Ecoinvent v2.2	Origem	Vetor pedigree	Incerteza básica	Desvio padrão relativo
Amônia (NH ₃)	10	g	<i>Ammonia</i>	Silva (2012)	(4,3,1,2,3,4)	1,20	1,316
Óxido nitroso (N ₂ O)	1,36	g	<i>Dinitrogen monoxide</i>	Silva (2012)	(4,3,1,2,3,4)	1,40	1,520
Glifosfato (partículas)	26,2	g	<i>Glyphosate</i>	Silva (2012)	(4,3,1,2,3,4)	1,50	1,625
Benzeno	5,00E-3	g	<i>Benzene</i>	Silva (2012)	(4,3,1,2,3,4)	1,50	1,625
Dióxido de carbono	1060	g	<i>Carbon dioxide</i>	Silva (2012)	(4,3,1,2,3,4)	1,05	1,193
Monóxido de carbono	0,526	g	<i>Carbon monoxide</i>	Silva (2012)	(4,3,1,2,3,4)	5,00	5,372
Particulados	65,726	g	<i>Particulates</i>	Silva (2012)	(4,3,1,2,3,4)	2,00	2,157
Metano	0,00624	g	<i>Methane</i>	Silva (2012)	(4,3,1,2,3,4)	1,50	1,625
Óxidos de nitrogênio	0,2243	g	<i>Nitrogen oxides</i>	Silva (2012)	(4,3,1,2,3,4)	1,50	1,625
Óxido nitroso	0,0078	g	<i>Dinitrogen monoxide</i>	Silva (2012)	(4,3,1,2,3,4)	1,50	1,625
COVNM	0,01273	g	<i>NM VOC, non-methane volatile organic compounds</i>	Silva (2012)	(4,3,1,2,3,4)	1,50	1,625
Dióxido de enxofre	4	g	<i>Sulfur dioxide</i>	Silva (2012)	(4,3,1,2,3,4)	1,50	1,625
Tolueno	0,000832	g	<i>Toluene</i>	Silva (2012)	(4,3,1,2,3,4)	1,50	1,625
Xileno	0,00208	g	<i>Xylene</i>	Silva (2012)	(4,3,1,2,3,4)	3,00	3,228
Dióxido de carbono (biogênico)	25.400	g	<i>Carbon dioxide, biogenic</i>	Silva (2012)	(4,3,1,2,3,4)	1,05	1,193

Tabela 29 – Inventário da produção de mudas de eucalipto (conclusão)

Saídas (emissões para a água)	Quantidade	Unidade	Material ou processo do Ecoinvent v2.2	Origem	Vetor pedigree	Incerteza básica	Desvio padrão relativo
Glifosfato (partículas)	3,19	g	<i>Glyphosate</i>	Silva (2012)	(4,3,1,2,3,4)	1,50	1,625
Saídas (fluxos finais de resíduos)	Quantidade	Unidade	Material ou processo do Ecoinvent v2.2	Origem	Vetor pedigree	Incerteza básica	Desvio padrão relativo
Resíduos de lubrificantes	0,0176	kg	<i>Oil waste</i>	Silva (2012)	(4,3,1,2,3,4)	1,05	1,193
Cinzas	2,9	kg	<i>Wood ashes</i>	Silva (2012)	(4,3,1,2,3,4)	1,05	1,193

¹Processo proveniente da base de dados *Ecoinvent v2.2*.

O inventário da etapa de cultivo de eucalipto (matéria prima para os postes de madeira) encontra-se na tabela 30. O produto final desta etapa é 144.000 kg de madeira de eucalipto (capacidade de produção de um hectare desta espécie). As estimativas foram realizadas considerando 9 anos de cultivo. Foi levado em conta que a área de plantio era ocupada por pastagens. O dióxido de carbono foi contabilizado como uma entrada, pois se refere à captura realizada pelas árvores.

Tabela 30 – Inventário do cultivo e corte de eucalipto por nove anos (continua)

Produto final: madeira de eucalipto citriodora (144.000 kg)							
Entradas (recursos naturais)	Quantidade	Unidade	Material ou processo da base de dados	Origem	Vetor pedigree	Incerteza básica	Desvio padrão relativo
Transformação de pastagem	10.000	m ²	<i>Transformation, from pasture and meadow, extensive</i>	Calculado	(2,3,1,1,3,1)	2,00	2,078
Transformação para floresta plantada	10.000	m ²	<i>Transformation, to forest, intensive</i>	Calculado	(2,3,1,1,3,1)	2,00	2,078
Ocupação (uso do solo)	90.000	m ² .a	<i>Occupation, forest, intensive</i>	Calculado	(2,3,1,1,3,1)	1,50	1,558
CO ₂ biogênico	243.000	kg	<i>Carbon dioxide, in air</i>	IPCC (2006)	(4,1,3,3,3,3)	1,05	1,156
Entradas (materiais e combustíveis)	Quantidade	Unidade	Material ou processo da base de dados	Origem	Vetor pedigree	Incerteza básica	Desvio padrão relativo
Adubo (superfosfato simples)	300	kg	<i>Single superphosphate, as P₂O₅, at regional storehouse/RER U¹</i>	Calculado	(2,3,1,1,3,1)	1,05	1,091
Calcário	120	kg	<i>Limestone, milled, loose, at plant/CH U¹</i>	Calculado	(2,3,1,1,3,1)	1,05	1,091
Herbicida (glifosato)	4	kg	<i>Glyphosate, at regional storehouse/RER U¹</i>	Calculado	(2,3,1,1,3,1)	1,05	1,091
Inseticida (formicida)	2,5	kg	<i>Insecticides, at regional storehouse/RER U¹</i>	Calculado	(2,3,1,1,3,1)	1,05	1,091
Transporte (caminhão)	46	t.km	<i>Transport, lorry 3,5-16t, EURO3/RER U</i>	Calculado	(4,4,1,1,3,5)	2,00	2,209

Tabela 30 – Inventário do cultivo e corte de eucalipto por nove anos (continuação)

Entradas (materiais e combustíveis)	Quantidade	Unidade	Material ou processo da base de dados	Origem	Vetor pedigree	Incerteza básica	Desvio padrão relativo
Transporte destinação embalagens	183	person. km	<i>Transport, passenger car, petrol, fleet average/RER U¹</i>	Calculado	(4,4,1,1,3,5)	2,00	2,209
Aplicação de insumos no solo	1	ha	<i>Fertilising, by broadcaster/CH U¹</i>	Calculado	(2,3,1,1,3,5)	1,05	1,255
Preparo do solo	1	ha	<i>Tillage, ploughing/CH U¹</i>	Calculado	(2,3,1,1,3,5)	1,05	1,255
Mudas de eucalipto	103	kg	<i>Mudas de eucalipto/BR U²</i>	Calculado	(4,3,1,2,3,4)	1,05	1,193
Nitrogênio (NPK)	106	kg	<i>Urea, as N, at regional storehouse/RER U¹</i>	Calculado	(2,3,1,1,5,1)	1,05	1,706
Fósforo (NPK)	575	kg	<i>Single superphosphate, as P₂O₅, at regional storehouse/RER U¹</i>	Calculado	(2,3,1,1,5,1)	1,05	1,706
Potássio (NPK)	111	kg	<i>Potassium chloride, as K₂O, at regional storehouse/RER U¹</i>	Calculado	(2,3,1,1,5,1)	1,05	1,706
Entradas (eletricidade e calor)	Quantidade	Unidade	Material ou processo da base de dados	Origem	Vetor pedigree	Incerteza básica	Desvio padrão relativo
Motosserra	32	h	<i>Chainsawing, hand felling and delimiting, INW/RNA³</i>	Calculado	(2,4,1,1,3,1)	1,05	1,098

Tabela 30 – Inventário do cultivo e corte de eucalipto por nove anos (conclusão)

Saídas (emissões para o ar)	Quantidade	Unidade	Material ou processo do Ecoinvent v2.2	Origem	Vetor pedigree	Incerteza básica	Desvio padrão relativo
Amônia (NH ₃)	7,2	kg	<i>Ammonia</i>	Silva (2010)	(4,3,2,3,3,3)	1,20	1,296
Óxido nitroso (N ₂ O)	0,96	kg	<i>Dinitrogen monoxide</i>	Silva (2010)	(4,3,2,3,3,3)	1,40	1,507
CO ₂ (Calcário)	57	kg	<i>Carbon dioxide</i>	IPCC (2006)	(4,3,3,3,3,3)	1,05	1,159
Saídas (emissões para a água)	Quantidade	Unidade	Material ou processo do Ecoinvent v2.2	Origem	Vetor pedigree	Incerteza básica	Desvio padrão relativo
Nitrogênio	9,6	kg	<i>Nitrogen, total</i>	Silva (2010)	(4,3,2,3,3,3)	1,50	1,614
Fósforo	5,2	kg	<i>Phosphorus</i>	Silva (2010)	(4,3,2,3,3,3)	1,50	1,614
Saídas (para o solo)	Quantidade	Unidade	Material ou processo do Ecoinvent v2.2	Origem	Vetor pedigree	Incerteza básica	D. padrão relativo
Herbicida (glifosato)	4	kg	<i>Glyphosate</i>	Sugawara (2012)	(4,3,1,3,3,5)	1,20	1,387
Inseticida (formicida)	2,5	kg	<i>Insecticides, unspecified</i>	Sugawara (2012)	(4,3,1,3,3,5)	1,20	1,387
Saídas (fluxos finais de resíduo)	Quantidade	Unidade	Material ou processo do Ecoinvent v2.2	Origem	Vetor pedigree	Incerteza básica	Desvio padrão relativo
Resíduo de poda/cascas	2880	kg	<i>Wood waste</i>	Andrade (2009)	(4,3,2,3,3,4)	1,05	1,194

¹Processo proveniente da base de dados *Ecoinvent v2.2*. ²Processo criado pelo autor com base em Silva (2012). ³Processo proveniente da base de dados USLCL.

Após o corte das árvores, a madeira é transportada até o pátio da fábrica onde passa por um processo de secagem. Feito isso, inicia-se o procedimento de fabricação. A Tabela 31 mostra o inventário desta etapa, em que a saída principal é um poste de madeira pesando 342 kg. Admitiu-se a geração de 7 kg de resíduos de madeira no momento ajuste das peças (corte da base e do topo). Estes são encaminhados para locais que utilizam fogão a lenha sendo contabilizados como produtos evitados.

Tabela 31 – Inventário da produção dos postes de madeira (continua)

Produto final: poste de madeira (342 kg)							
Produtos evitados: cultivo de eucalipto citriodora/BR U (7 kg)							
Entradas (materiais e combustíveis)	Quantidade	Unidade	Material ou processo da base de dados	Origem	Vetor pedigree	Incerteza básica	Desvio padrão relativo
Água	32	kg	<i>Tap water, at user/RER U¹</i>	Calculado	(2,3,1,1,3,1)	1,05	1,091
Madeira de eucalipto	349	kg	<i>Madeira de eucalipto citriodora/BR U²</i>	Calculado	(3,4,1,1,1,1)	1,05	1,069
Preservativo (CCA-C)	2,1	kg	<i>Wood preservative, inorganic salt, containing Cr, at plant/RER S¹</i>	Calculado	(2,3,1,1,5,1)	1,05	1,707
Aço galvanizado	100	g	<i>Steel, low-alloyed, at plant/RER U¹</i>	Calculado	(4,4,1,1,3,5)	1,05	1,171
Alumínio	10	g	<i>Aluminium, production mix, at plant/RER U¹</i>	Calculado	(4,4,1,1,3,5)	1,05	1,171
Creosoto	50	g	<i>Wood preservative, creosote, at plant/RER¹</i>	Calculado	(5,4,1,1,3,5)	1,05	1,335
Transporte de materiais	16	tkm	<i>Transport, lorry 16-32t, EURO3/RER U¹</i>	Calculado	(4,4,1,1,3,5)	2,00	2,209
Movimentação interna	0,0342	tkm	<i>Transport, tractor and trailer/CH U¹</i>	Calculado	(4,4,1,1,3,5)	2,00	2,209
Entradas (eletricidade e calor)	Quantidade	Unidade	Material ou processo do Ecoinvent v2.2	Origem	Vetor pedigree	Incerteza básica	Desvio padrão relativo
Energia elétrica	0,72	kWh	<i>Electricity, medium voltage, at grid/BR U¹</i>	Calculado	(4,4,1,1,1,5)	1,05	1,132

Tabela 31 – Inventário da produção dos postes de madeira (conclusão)

Saídas (emissões para o ar)	Quantidade	Unidade	Material ou processo do Ecoinvent v2.2	Origem	Vetor pedigree	Incerteza básica	Desvio padrão relativo
Pó de madeira	20	g	Wood (dust)	Calculado	(5,4,1,1,3,5)	1,05	1,335

¹Processo proveniente da base de dados *Ecoinvent v2.2*. ²Processo criado pelo autor com base em visita técnica.

5.10.2. Postes de concreto

Para a fabricação dos postes de concreto é necessário, dentre outros materiais, da obtenção de areia, agregado (brita) e cimento portland. Desta maneira, foram criados os processos de obtenção destes materiais, referente à etapa de extração de matéria prima. As informações foram obtidas de Yokote (2003).

A tabela 32 ilustra o inventário da obtenção de 1000 kg de areia. Da mesma maneira, a tabela 33 ilustra o inventário da obtenção de 1000 kg de agregado.

Para a obtenção do cimento portland, necessita-se dentre outros materiais, de clínquer e gipsita. Para a obtenção do clínquer se faz necessário a produção de blend de cimento, que por sua vez é proveniente a partir da produção de calcita.

Desta maneira, o inventário da produção de 1 kg de cimento Portland se encontra na tabela 34. O inventário da produção de clínquer se encontra na tabela 35. O inventario da produção de blend de cimento se encontra na tabela 36. O inventário da produção de calcita se encontra na tabela 37. O inventário da produção de gipsita se encontra na tabela 38.

Tabela 32 – Inventário da produção de areia

Produto final: areia (1000 kg)							
Entradas (recursos naturais)	Quantidade	Unidade	Material ou processo da base de dados	Origem	Vetor pedigree	Incerteza básica	Desvio padrão relativo
Areia	1080	kg	<i>Sand, unspecified, in ground¹</i>	Yokote (2003)	(4,1,4,3,3,5)	1,05	1,200
Água	2000	kg	<i>Tap water, at user/RER U¹</i>	Yokote (2003)	(4,1,4,3,3,5)	1,05	1,200
Conversão para área industrial	0,000008	m ²	<i>Transformation, to industrial área¹</i>	Yokote (2003)	(4,1,4,3,3,5)	2,00	2,285
Entradas (eletricidade e calor)	Quantidade	Unidade	Material ou processo do Ecoinvent v2.2	Origem	Vetor pedigree	Incerteza básica	Desvio padrão relativo
Energia (óleos fósseis)	25	MJ	<i>Electricity, oil, at power plant/AT U¹</i>	Yokote (2003)	(4,1,4,3,3,5)	1,05	1,200
Energia (gás natural)	18	MJ	<i>Electricity, industrial gas, at power plant/AT¹</i>	Yokote (2003)	(4,1,4,3,3,5)	1,05	1,200
Saídas (emissões para o ar)	Quantidade	Unidade	Material ou processo do Ecoinvent v2.2	Origem	Vetor pedigree	Incerteza básica	Desvio padrão relativo
Material particulado	20	kg	<i>Particulates, SPM</i>	Yokote (2003)	(4,1,4,3,3,5)	2,00	2,285
Saídas (fluxos finais de resíduos)	Quantidade	Unidade	Material ou processo do Ecoinvent v2.2	Origem	Vetor pedigree	Incerteza básica	Desvio padrão relativo
Resíduo	31	kg	<i>Residues</i>	Yokote (2003)	(4,1,4,3,3,5)	1,05	1,200

¹Processo proveniente da base de dados *Ecoinvent v2.2*.

Tabela 33 – Inventário da produção de agregado

Produto final: agregado (1000 kg)							
Entradas (recursos naturais)	Quantidade	Unidade	Material ou processo da base de dados	Origem	Vetor pedigree	Incerteza básica	Desvio padrão relativo
Cascalho	1080	kg	<i>Gravel, in ground</i> ¹	Yokote (2003)	(4,1,4,3,3,5)	1,05	1,200
Água	2000	kg	<i>Tap water, at user/RER U</i> ¹	Yokote (2003)	(4,1,4,3,3,5)	1,05	1,200
Conversão para área industrial	3,33x10 ⁻⁷	m ²	<i>Transformation, to industrial area</i> ¹	Yokote (2003)	(4,1,4,3,3,5)	2,00	2,285
Entradas (eletricidade e calor)	Quantidade	Unidade	Material ou processo do Ecoinvent v2.2	Origem	Vetor pedigree	Incerteza básica	Desvio padrão relativo
Eletricidade	16	MJ	<i>Electricity, medium voltage, at grid/BR U</i> ¹	Yokote (2003)	(4,1,4,3,3,5)	1,05	1,200
Saídas (fluxos finais de resíduos)	Quantidade	Unidade	Material ou processo do Ecoinvent v2.2	Origem	Vetor pedigree	Incerteza básica	Desvio padrão relativo
Rejeito mineral	0,0336	kg	<i>Mineral waste</i>	Yokote (2003)	(4,1,4,3,3,5)	1,05	1,200

¹Processo proveniente da base de dados *Ecoinvent v2.2*.

Tabela 34 – Inventário da produção de cimento Portland (continua)

Produto final: cimento Portland (1 kg)							
Entradas (recursos naturais)	Quantidade	Unidade	Material ou processo da base de dados	Origem	Vetor pedigree	Incerteza básica	Desvio padrão relativo
Água	13,8	l	<i>Tap water, at user/RER U¹</i>	Yokote (2003)	(4,1,4,3,3,5)	1,05	1,200
Ocupação de área (industrial)	69	cm ² .a	<i>Occupation, industrial area¹</i>	Yokote (2003)	(4,1,4,3,3,5)	1,50	1,714
Entradas (materiais e combustíveis)	Quantidade	Unidade	Material ou processo da base de dados	Origem	Vetor pedigree	Incerteza básica	Desvio padrão relativo
Clinker	0,945	kg	Clinker ²	Yokote (2003)	(4,1,4,3,3,5)	1,05	1,200
Gipsita	0,055	kg	Gipsita ²	Yokote (2003)	(4,1,4,3,3,5)	1,05	1,200
Entradas (eletricidade e calor)	Quantidade	Unidade	Material ou processo do Ecoinvent v2.2	Origem	Vetor pedigree	Incerteza básica	Desvio padrão relativo
Energia (óleos fósseis)	0,013	MJ	<i>Electricity, oil, at power plant/AT U¹</i>	Yokote (2003)	(4,1,4,3,3,5)	1,05	1,200
Energia (gás natural)	0,95	MJ	<i>Electricity, natural gas, at power plant/AT U¹</i>	Yokote (2003)	(4,1,4,3,3,5)	1,05	1,200
Energia proveniente do carvão	0,126	MJ	<i>Electricity, hard coal, at power plant/AT U¹</i>	Yokote (2003)	(4,1,4,3,3,5)	1,05	1,200
Eletricidade	0,447	MJ	<i>Electricity, medium voltage, at grid/BR U¹</i>	Yokote (2003)	(4,1,4,3,3,5)	1,05	1,200

Tabela 34 – Inventário da produção de cimento Portland (conclusão)

Saídas (emissões para o ar)	Quantidade	Unidade	Material ou processo do Ecoinvent v2.2	Origem	Vetor pedigree	Incerteza básica	Desvio padrão relativo
Particulados	47	mg	<i>Particulates, SPM</i>	Yokote (2003)	(4,1,4,3,3,5)	2,00	2,285
Saídas (fluxos finais de resíduos)	Quantidade	Unidade	Material ou processo do Ecoinvent v2.2	Origem	Vetor pedigree	Incerteza básica	Desvio padrão relativo
Flúor	0,12	mg	<i>Fluorine</i>	Yokote (2003)	(4,1,4,3,3,5)	1,05	1,200

¹Processo proveniente da base de dados *Ecoinvent v2.2*. ²Processo criado pelo autor com base em Yokote (2003).

Tabela 35 – Inventário da produção de clínquer

Produto final: clínquer (1 kg)							
Entradas (materiais e combustíveis)	Quantidade	Unidade	Material ou processo da base de dados	Origem	Vetor pedigree	Incerteza básica	Desvio padrão relativo
Blend para cimento	1,75	kg	Blend de cimento ²	Yokote (2003)	(4,1,4,3,3,5)	1,05	1,200
Entradas (eletricidade e calor)	Quantidade	Unidade	Material ou processo do Ecoinvent v2.2	Origem	Vetor pedigree	Incerteza básica	Desvio padrão relativo
Energia proveniente de óleos (fósseis)	0,515	MJ	<i>Electricity, oil, at power plant/AT U¹</i>	Yokote (2003)	(4,1,4,3,3,5)	1,05	1,200
Energia proveniente de gás natural	0,007	MJ	<i>Electricity, natural gas, at power plant/AT U¹</i>	Yokote (2003)	(4,1,4,3,3,5)	1,05	1,200
Energia proveniente do carvão	0,515	MJ	<i>Electricity, hard coal, at power plant/AT U¹</i>	Yokote (2003)	(4,1,4,3,3,5)	1,05	1,200
Saídas (emissões para o ar)	Quantidade	Unidade	Material ou processo do Ecoinvent v2.2	Origem	Vetor pedigree	Incerteza básica	Desvio padrão relativo
CO ₂ (da queima do blend)	518	g	<i>Carbon dioxide</i>	Yokote (2003)	(4,1,4,3,3,5)	1,05	1,200

¹Processo proveniente da base de dados *Ecoinvent v2.2*. ²Processo criado pelo autor com base em Yokote (2003).

Tabela 36 – Inventário da produção de blend de cimento (continua)

Produto final: blend de cimento (1 kg)							
Entradas (recursos naturais)	Quantidade	Unidade	Material ou processo da base de dados	Origem	Vetor pedigree	Incerteza básica	Desvio padrão relativo
Xisto	0,044	kg	<i>Shale, in ground</i> ¹	Yokote (2003)	(4,1,4,3,3,5)	1,05	1,200
Argila	0,044	kg	<i>Clay, unspecified, in ground</i> ¹	Yokote (2003)	(4,1,4,3,3,5)	1,05	1,200
Água	1,799	l	<i>Tap water, at user/RER U</i> ¹	Yokote (2003)	(4,1,4,3,3,5)	1,05	1,200
Entradas (materiais e combustíveis)	Quantidade	Unidade	Material ou processo da base de dados	Origem	Vetor pedigree	Incerteza básica	Desvio padrão relativo
Calcita	0,849	kg	Calcita ²	Yokote (2003)	(4,1,4,3,3,5)	1,05	1,200
Areia	220	g	Areia ²	Yokote (2003)	(4,1,4,3,3,5)	1,05	1,200
Minério de ferro	4,67	g	<i>Iron ore, 65% Fe, at beneficiation/GLO</i> U ¹	Yokote (2003)	(4,1,4,3,3,5)	1,05	1,200
Bauxita	17,89	g	<i>Bauxite, at mine/GLO</i> U ¹	Yokote (2003)	(4,1,4,3,3,5)	1,05	1,200
Entradas (eletricidade e calor)	Quantidade	Unidade	Material ou processo do Ecoinvent v2.2	Origem	Vetor pedigree	Incerteza básica	Desvio padrão relativo
Eletricidade	0,481	MJ	<i>Electricity, medium voltage, at grid/BR</i> U ¹	Yokote (2003)	(4,1,4,3,3,5)	1,05	1,200
Energia (óleos fósseis)	0,013	MJ	<i>Electricity, oil, at power plant/AT</i> U ¹	Yokote (2003)	(4,1,4,3,3,5)	1,05	1,200

Tabela 36 – Inventário da produção de blend de cimento (conclusão)

Entradas (eletricidade e calor)	Quantidade	Unidade	Material ou processo do Ecoinvent v2.2	Origem	Vetor pedigree	Incerteza básica	Desvio padrão relativo
Energia proveniente de gás natural	0,95	MJ	<i>Electricity, natural gas, at power plant/AT U¹</i>	Yokote (2003)	(4,1,4,3,3,5)	1,05	1,200
Energia proveniente do carvão	1,26	MJ	<i>Electricity, hard coal, at power plant/AT U¹</i>	Yokote (2003)	(4,1,4,3,3,5)	1,05	1,200
Saídas (emissões para a água)	Quantidade	Unidade	Material ou processo do Ecoinvent v2.2	Origem	Vetor pedigree	Incerteza básica	Desvio padrão relativo
Água	1,8	l	<i>Waste water</i>	Yokote (2003)	(4,1,4,3,3,5)	1,05	1,200
Saídas (fluxos finais de resíduos)	Quantidade	Unidade	Material ou processo do Ecoinvent v2.2	Origem	Vetor pedigree	Incerteza básica	Desvio padrão relativo
Rejeito (do blend de cimento)	0,4	kg	<i>Residues</i>	Yokote (2003)	(4,1,4,3,3,5)	1,05	1,200

¹Processo proveniente da base de dados *Ecoinvent v2.2*. ²Processo criado pelo autor com base em Yokote (2003).

Tabela 37 – Inventário da produção de calcita

Produto final: calcita (1 kg)							
Entradas (recursos naturais)	Quantidade	Unidade	Material ou processo da base de dados	Origem	Vetor pedigree	Incerteza básica	Desvio padrão relativo
Calcário (rocha)	1,1375	kg	<i>Limestone, in ground</i> ¹	Yokote (2003)	(4,1,4,3,3,5)	1,05	1,200
Entradas (eletricidade e calor)	Quantidade	Unidade	Material ou processo do Ecoinvent v2.2	Origem	Vetor pedigree	Incerteza básica	Desvio padrão relativo
Eletricidade	0,018	MJ	<i>Electricity, medium voltage, at grid/BR U</i> ¹	Yokote (2003)	(4,1,4,3,3,5)	1,05	1,200
Energia proveniente de óleos (fósseis)	0,025	MJ	<i>Electricity, oil, at power plant/AT U</i> ¹	Yokote (2003)	(4,1,4,3,3,5)	1,05	1,200
Saídas (emissões para o ar)	Quantidade	Unidade	Material ou processo do Ecoinvent v2.2	Origem	Vetor pedigree	Incerteza básica	Desvio padrão relativo
Poeira	0,025	kg	<i>Particulates, SPM</i>	Yokote (2003)	(4,1,4,3,3,5)	2,00	2,285
Saídas (fluxos finais de resíduos)	Quantidade	Unidade	Material ou processo do Ecoinvent v2.2	Origem	Vetor pedigree	Incerteza básica	Desvio padrão relativo
Resíduos	0,00014	kg	<i>Residues</i>	Yokote (2003)	(4,1,4,3,3,5)	1,05	1,200

¹Processo proveniente da base de dados *Ecoinvent v2.2*.

Tabela 38 – Inventário da produção de gipsita

Produto final: gipsita (1 kg)							
Entradas (recursos naturais)	Quantidade	Unidade	Material ou processo da base de dados	Origem	Vetor pedigree	Incerteza básica	Desvio padrão relativo
Gipsita (minério)	1	kg	<i>Gypsum, in ground</i> ¹	Yokote (2003)	(4,1,4,3,3,5)	1,05	1,200
Entradas (eletricidade e calor)	Quantidade	Unidade	Material ou processo do Ecoinvent v2.2	Origem	Vetor pedigree	Incerteza básica	Desvio padrão relativo
Eletricidade	0,67	MJ	<i>Electricity, medium voltage, at grid/BR U</i> ¹	Yokote (2003)	(4,1,4,3,3,5)	1,05	1,200
Saídas (emissões para o ar)	Quantidade	Unidade	Material ou processo do Ecoinvent v2.2	Origem	Vetor pedigree	Incerteza básica	Desvio padrão relativo
Particulados (PM10)	47	g	<i>Particulates</i>	Yokote (2003)	(4,1,4,3,3,5)	3,00	3,428
CO ₂	67	g	<i>Carbon dioxide</i>	Yokote (2003)	(4,1,4,3,3,5)	1,05	1,200

¹Processo proveniente da base de dados *Ecoinvent v2.2*.

Diante do inventário destes materiais, e as quantidades levantadas nas visitas técnicas, foi desenvolvido o inventário do processo de fabricação dos postes de concreto, conforme apresentado na Tabela 39. Nele, estão embutidos todos os processos envolvidos que foram citados anteriormente referentes à extração de materiais primas, nas devidas quantidades.

Tabela 39 – Inventário da produção dos postes de concreto (continua)

Produto final: poste de concreto (1085 kg)							
Entradas (materiais e combustíveis)	Quantidade	Unidade	Material ou processo da base de dados	Origem	Vetor pedigree	Incerteza básica	Desvio padrão relativo
Água	74	kg	<i>Tap water, at user/RER U¹</i>	Calculado	(2,4,1,1,3,1)	1,05	1,098
Aço de armação	61	kg	<i>Reinforcing steel, at plant/RER U¹</i>	Calculado	(2,4,1,1,3,1)	1,05	1,098
Diesel (desmoldante)	0,248	kg	<i>Diesel, at regional storage/RER U¹</i>	Calculado	(2,4,1,1,3,1)	1,05	1,098
Agregado (brita)	529	kg	Agregado ²	Calculado	(2,4,1,1,3,1)	1,05	1,098
Areia	271	kg	Areia ²	Calculado	(2,4,1,1,3,1)	1,05	1,098
Cimento	150	kg	Cimento Portland ²	Calculado	(2,4,1,1,3,1)	1,05	1,098
Transporte de materiais	87	t.km	<i>Transport, lorry 16-32t, EURO3/RER U¹</i>	Calculado	(4,4,1,1,3,5)	2,00	2,209
Movimentação interna	0,1085	t.km	<i>Transport, tractor and trailer/CH U¹</i>	Calculado	(4,4,1,1,3,5)	2,00	2,209
Entradas (eletricidade e calor)	Quantidade	Unidade	Material ou processo do Ecoinvent v2.2	Origem	Vetor pedigree	Incerteza básica	Desvio padrão relativo
Energia elétrica	2,8	kWh	<i>Electricity, medium voltage, at grid/BR U¹</i>	Calculado	(4,4,1,1,1,5)	1,05	1,132
Saídas (emissões para o ar)	Quantidade	Unidade	Material ou processo do Ecoinvent v2.2	Origem	Vetor pedigree	Incerteza básica	Desvio padrão relativo
Material particulado	150	g	<i>Particulates, SPM</i>	Calculado	(4,4,1,1,3,5)	1,50	1,672

Tabela 39 – Inventário da produção dos postes de concreto (conclusão)

Saídas (fluxos finais de resíduos)	Quantidade	Unidade	Material ou processo do Ecoinvent v2.2	Origem	Vetor pedigree	Incerteza básica	Desvio padrão relativo
Resíduo metálico	40	g	<i>Steel waste</i>	Calculado	(4,4,1,1,3,5)	1,50	1,672
Resíduo de concreto	10,2	kg	<i>Construction waste</i>	Calculado	(4,4,1,1,3,5)	1,05	1,171

¹Processo proveniente da base de dados *Ecoinvent v2.2*. ²Processo criado pelo autor com base em Yokote (2003).

5.11. Resultados da ACV - Avaliação de impactos ambientais

Esta etapa se refere à análise do inventário de ciclo de vida dos postes sobre a perspectiva de dois métodos de avaliação de impacto ambiental, CML 2001 e ReCiPe *midpoint* (H). As categorias de impacto ambiental analisadas foram acidificação, eutrofização, aquecimento global, ecotoxicidade, toxicidade humana, depleção abiótica e uso da terra. Os métodos de avaliação de impacto ambiental selecionados apresentam mais algumas categorias de impacto ambiental, como por exemplo, depleção da camada de ozônio, oxidação fotoquímica e radiação ionizante. Porém julgou-se que as categorias selecionadas seriam mais relevantes para os postes no contexto brasileiro.

A rede dos sistemas está apresentada no APÊNDICE A, em que pode ser verificada a contribuição de cada etapa do ciclo de vida dos postes nos impactos ambientais em função da espessura da seta do fluxo.

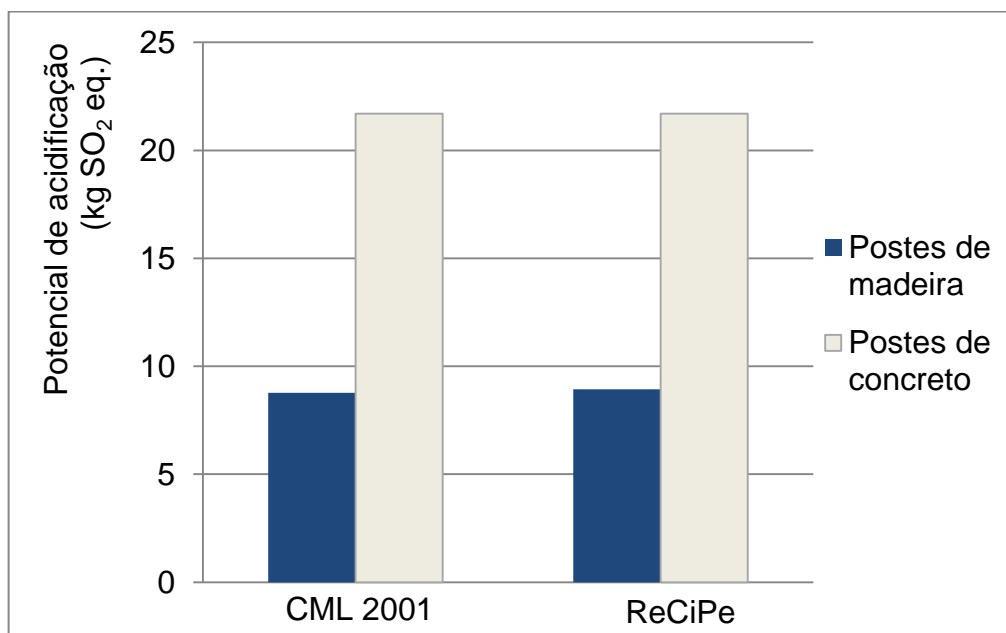
5.11.1. Caracterização

Os resultados da caracterização são obtidos com base na correlação dos dados do inventário com os fatores de equivalência das categorias de impacto ambiental (característicos de cada método).

5.11.1.1. Potencial de acidificação

Foi realizada a comparação entre os postes de madeira e de concreto para a categoria de acidificação, conforme ilustrado na figura 15, através dos métodos de AIA selecionados. A diferença entre os resultados dos dois métodos foi de até 2%. No método ReCiPe esta categoria recebe o nome de “acidificação terrestre”. O potencial de acidificação é expresso em kg de dióxido de enxofre equivalente.

Figura 15 – Potencial de acidificação do ciclo de vida dos postes



Os postes de concreto apresentam maior potencial de impacto ambiental para a categoria de acidificação em relação aos postes de madeira.

A análise do processo indicou que o transporte (relacionado às emissões de NO_x e SO_x provenientes da queima do diesel) foi o principal contribuinte para esta categoria. Com isso, o fato dos materiais dos postes de concreto possuir uma massa elevada em relação aos postes de madeira faz com que os mais pesados se destaquem.

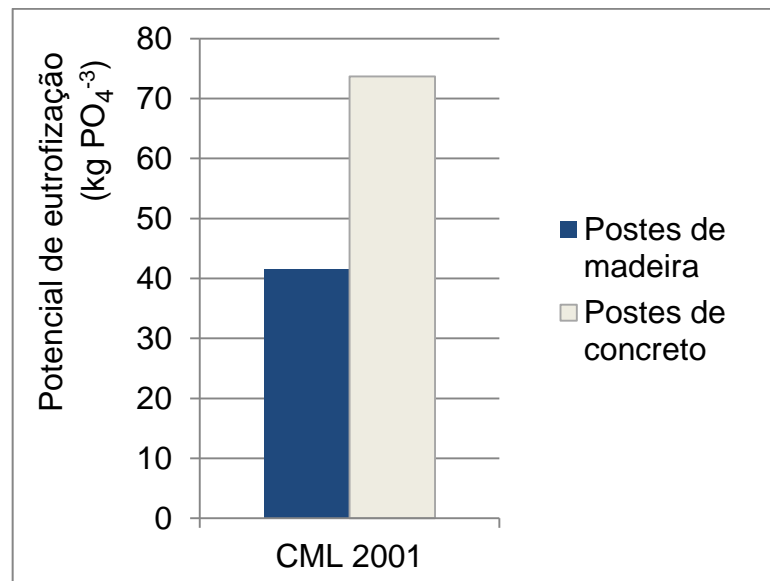
A demanda de energia não renovável em algumas etapas da produção de cimento (carvão e gás natural, por exemplo) também intensificaram os resultados para os postes de concreto. Já para os postes de madeira, o processo de produção do preservativo químico apresentou significativa contribuição.

5.11.1.2. Potencial de eutrofização

Foi realizada a comparação entre os postes de madeira e de concreto para a categoria de eutrofização a partir ambos os métodos, porém, para o método ReCiPe esta categoria é dividida em eutrofização marinha e eutrofização de água doce. Para

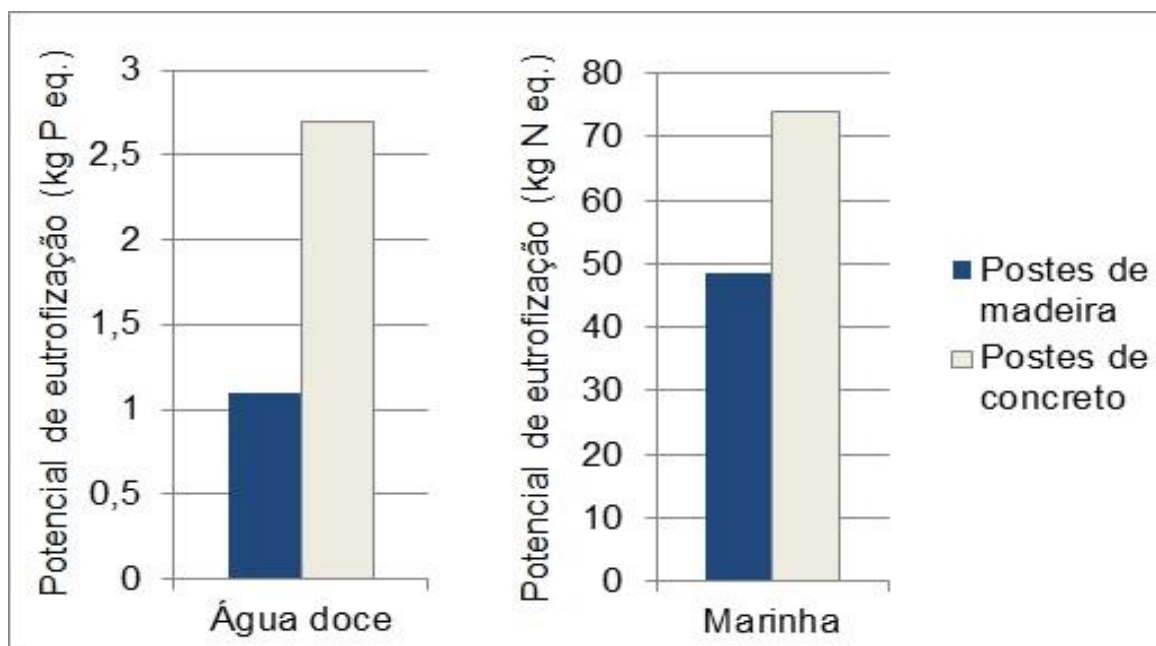
o método CML 2001, o potencial de eutrofização é expresso em kg de fosfato equivalente. Já o método ReCiPe tem os potenciais de eutrofização marinha e de água doce expressos respectivamente em kg de nitrogênio equivalente e kg de fósforo equivalente. Esta diferença entre os métodos faz com que dificulte a comparação da magnitude dos impactos. A figura 16 ilustra o potencial de eutrofização para o método CML 2001.

Figura 16 – Potencial de eutrofização do ciclo de vida dos postes para o método CML 2001



Os postes de concreto apresentam maior potencial de impacto ambiental para a categoria de eutrofização em relação aos postes de madeira, de acordo com o método CML 2001. A figura 17 ilustra o potencial impacto de eutrofização marinha e de água doce para o método ReCiPe.

Figura 17 – Potencial de eutrofização do ciclo de vida dos postes para o método ReCiPe



Neste método os postes dos postes de concreto também apresentam maior potencial de impacto para a categoria de eutrofização (marinha e de água doce).

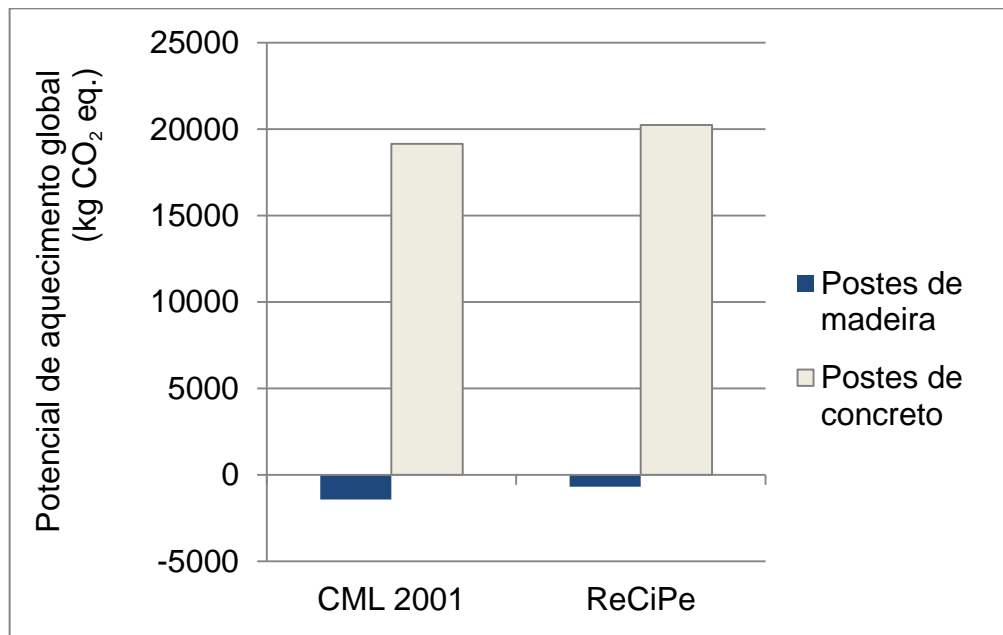
Análise do processo para ambos os métodos indicou que os impactos desta categoria estão relacionados principalmente à destinação final dos postes para aterro (pois neste processo estão inclusas emissões de longo prazo para água subterrânea após a validade da manta de impermeabilização, emissões do tratamento do chorume e emissões gasosas da queima do gás), sendo que os postes de concreto possuem maior potencial de impacto devido à maior quantidade de resíduo gerada após o fim da vida útil. As emissões provenientes da queima de combustível e o uso de energia não renovável agravaram este quadro. No que diz respeito aos postes de madeira, também há contribuição do uso de fertilizantes na etapa de cultivo de eucalipto.

5.11.1.3. Potencial de aquecimento global

A figura 18 ilustra a comparação entre os postes de madeira e de concreto para a categoria de aquecimento global realizada através dos métodos de AIA

selecionados. A diferença entre os resultados dos dois métodos foi de até 9%. No método ReCiPe esta categoria recebe o nome de “mudanças climáticas”. O potencial de aquecimento global é expresso num horizonte de 100 anos sob o fator de conversão expresso em kg de dióxido de carbono equivalente.

Figura 18 – Potencial de aquecimento global do ciclo de vida dos postes



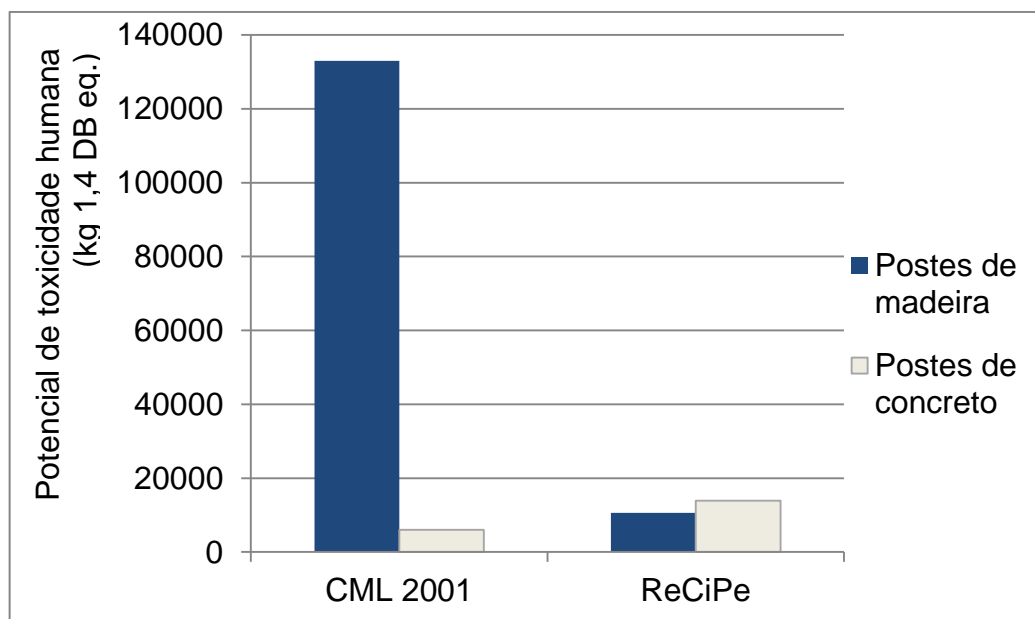
Conforme verificado os postes de concreto apresentam maior potencial de impacto ambiental para a categoria de aquecimento global em relação aos postes de madeira.

Da mesma maneira que na categoria de acidificação, a análise do processo permitiu verificar que os impactos da categoria de aquecimento global tiveram influências do transporte e da utilização de energia proveniente do carvão e gás natural. Ainda, em relação aos postes de concreto, a etapa de produção do clínquer foi grande contribuinte por envolver emissões de CO₂. Para os postes de madeira, o sequestro de dióxido de carbono da atmosfera durante o cultivo de eucalipto é um benefício ambiental, logo, o impacto para esta categoria se encontra abaixo de zero.

5.11.1.4. Potencial de toxicidade humana

A Figura 19 ilustra a comparação entre os postes de madeira e de concreto para a categoria de toxicidade humana realizada através dos métodos de AIA selecionados. A diferença entre os resultados dos dois métodos foi de até 92%, sendo bastante relevante em termos quantitativos. Além disso, os resultados são inversos em relação ao tipo de poste mais impactante. Isto ocorre pelo fato dos métodos terem abordagens distintas na quantificação dos impactos. Por exemplo, o método CML 2001 considera para esta categoria um horizonte temporal infinito, enquanto o método ReCiPe considera esta emissão em termos anuais. As substâncias tóxicas têm seus valores expressos em kg de 1,4-diclorobenzeno equivalente.

Figura 19 – Potencial de toxicidade humana do ciclo de vida dos postes



Os postes de madeira apresentam maior potencial de impacto ambiental para a categoria de toxicidade humana em relação aos postes de concreto de acordo com o método CML 2001. Porém, segundo o método ReCiPe este quadro se inverte, com uma diferença relativamente menor.

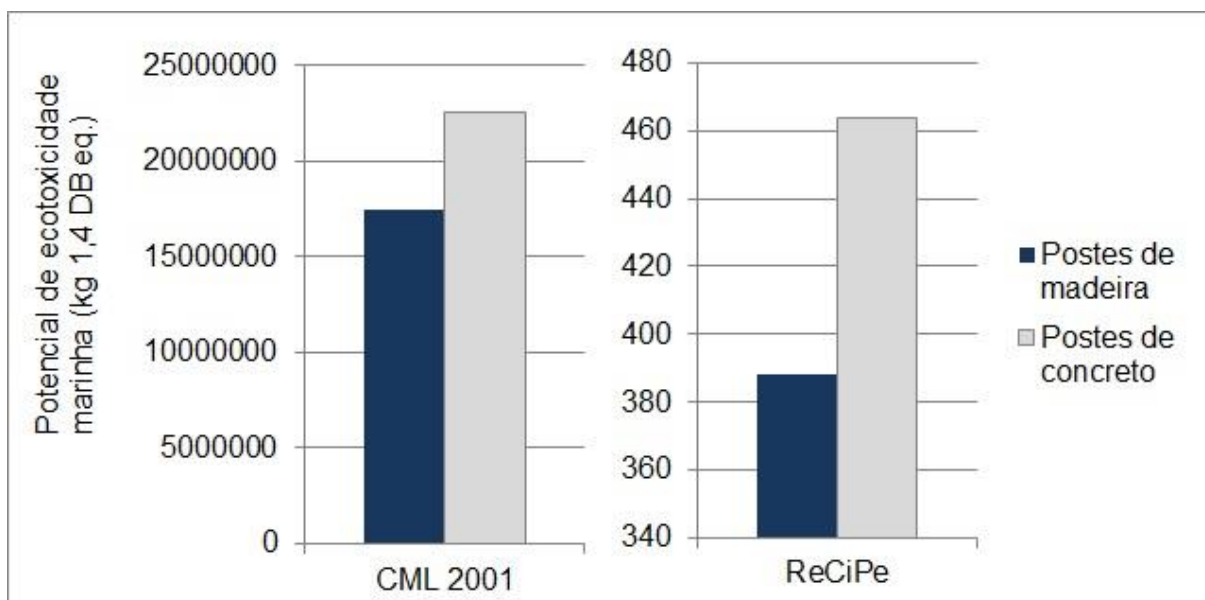
A análise do processo para os dois métodos indicou que tanto a produção do preservativo químico quanto a sua utilização (promovendo lixiviação) apresentou significativa contribuição. Alguns processos referentes à disposição final em aterro também contribuíram com os impactos desta categoria (emissões durante o

tratamento do chorume e proveniente da queima do gás), justificando o valor superior de impactos dos postes de concreto para o método ReCiPe (maior quantidade de resíduo destinada para aterro).

5.11.1.5. Potencial de ecotoxicidade

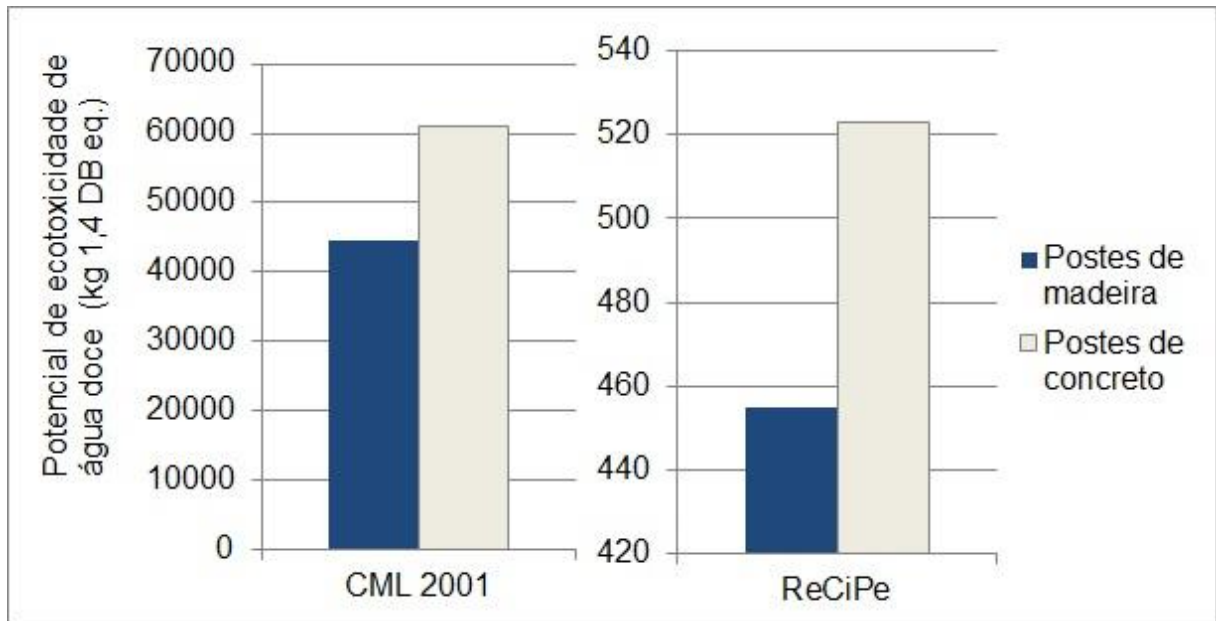
A comparação entre os postes de madeira e de concreto para a categoria de ecotoxicidade marinha está apresentada na figura 20, realizada através dos métodos de AIA selecionados. Esta categoria possui a análise também para a ecotoxicidade de água doce e terrestre. A diferença entre os resultados dos dois métodos foi de até 99,8%, sendo bastante relevante em termos quantitativos, conforme verificado também para a categoria de toxicidade humana (em função das diferentes abordagens na quantificação dos impactos). As substâncias tóxicas têm seus valores expressos em kg de 1,4-diclorobenzeno equivalente.

Figura 20 – Potencial de ecotoxicidade marinha do ciclo de vida dos postes



Conforme verificado os postes de concreto apresentam maior potencial de impacto ambiental para a categoria de ecotoxicidade marinha em relação aos postes de madeira. A figura 21 ilustra a comparação para a mesma categoria, porém em relação à água doce.

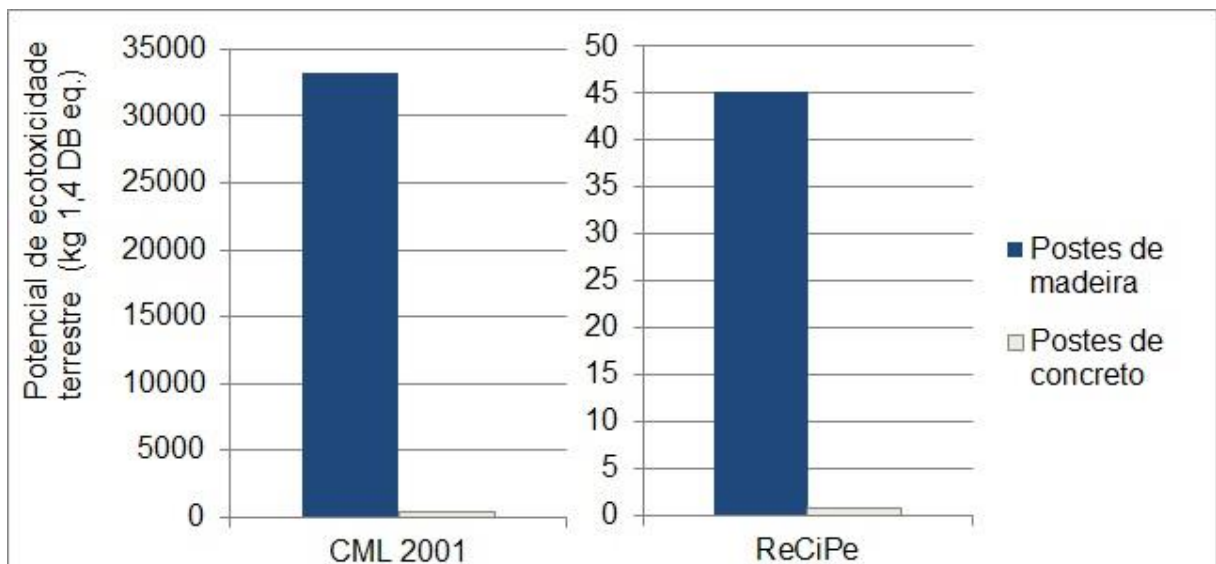
Figura 21 – Potencial de ecotoxicidade de água doce do ciclo de vida dos postes



Neste caso os postes de concreto ainda apresentam maior potencial de impacto ambiental em relação aos postes de madeira, e da mesma maneira, com discrepância na ordem de grandeza dos resultados dos diferentes métodos.

Por fim, a figura 22 ilustra a comparação para a categoria de ecotoxicidade terrestre.

Figura 22 – Potencial de ecotoxicidade terrestre do ciclo de vida dos postes



Desta vez os resultados inverteram consideravelmente, sendo que os postes de madeira apresentaram maior potencial de impacto ambiental em relação aos postes de concreto, mesmo que ainda esteja presente a grande diferença quantitativa entre os métodos.

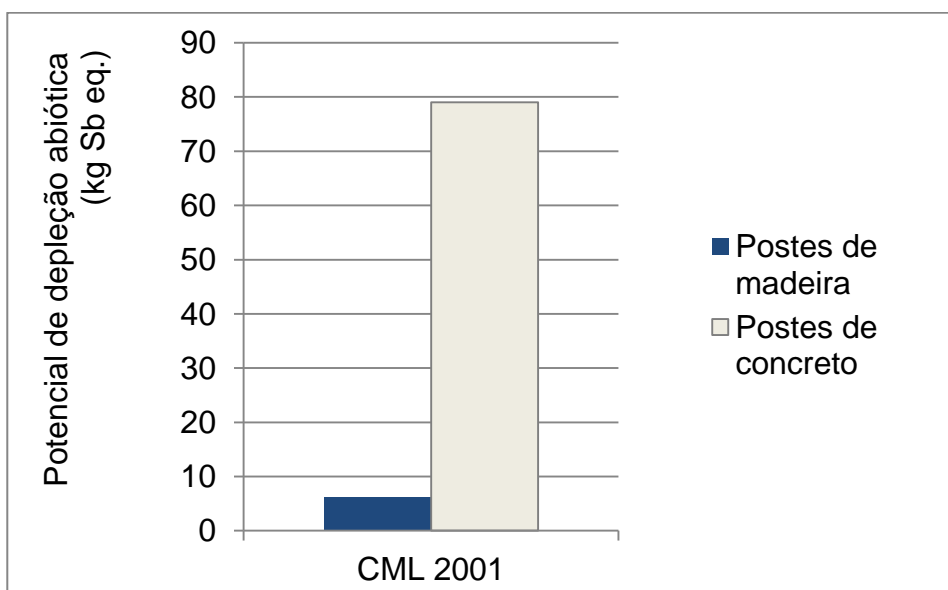
A análise do processo indicou que a produção da substância preservativa e seu uso (promovendo lixiviação no solo) foram os principais contribuintes para os impactos de ecotoxicidade dos postes de madeira (principalmente no ambiente terrestre, onde os metais pesados tem contato direto).

Alguns processos relacionados à disposição final também contribuíram com os potenciais impactos de ecotoxicidade, conforme verificado também nas categorias de toxicidade humana e eutrofização, em função das emissões de curto e longo prazo provenientes dos aterros. Isso fez com que os impactos para o ambiente aquático tenham sido maiores para os postes de concreto (por terem maior quantidade de resíduos encaminhada para aterro).

5.11.1.6. *Potencial de depleção abiótica*

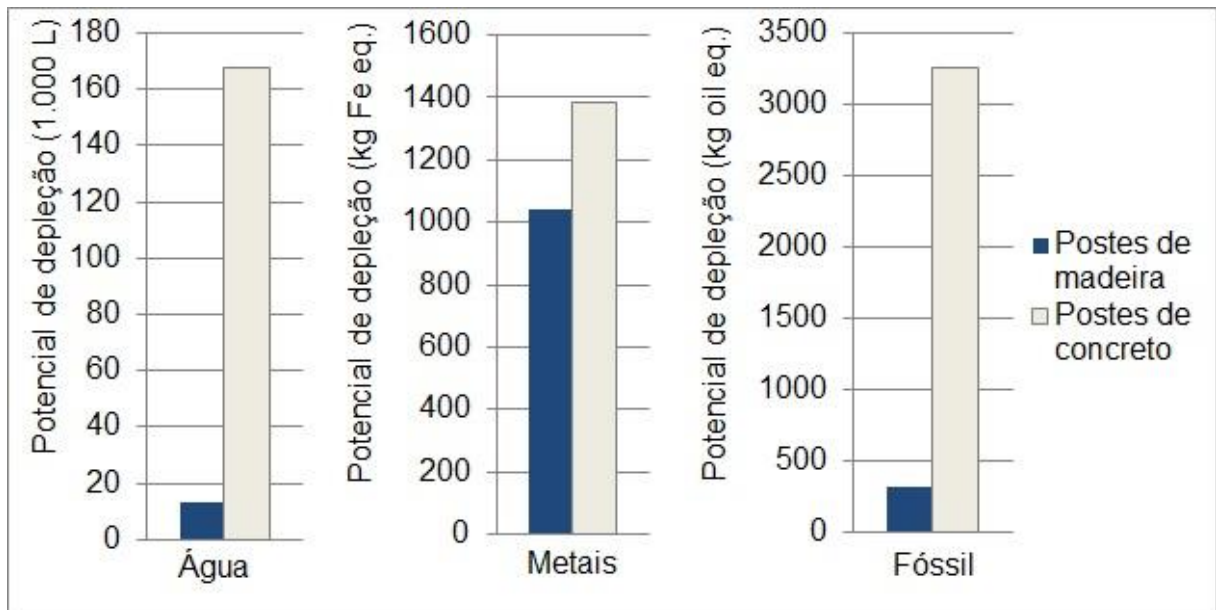
A comparação entre os postes de madeira e de concreto para a categoria de depleção abiótica foi realizada através dos métodos de AIA selecionados, sendo que para o método ReCiPe, esta categoria é dividida em depleção fóssil, da água e de metais. A figura 23 ilustra o potencial de depleção abiótica do ciclo de vida dos postes para o método CML 2001. O fator de caracterização é baseado em kg de antimônio (Sb) equivalente por kg de extração.

Figura 23 – Potencial de depleção abiótica do ciclo de vida dos postes para o método CML



Os postes de concreto apresentam maior potencial de impacto ambiental para a categoria de depleção abiótica em relação aos postes de madeira, de acordo com o método CML 2001. A figura 24 ilustra os potenciais de depleção da água, de metais e fóssil do ciclo de vida dos postes de acordo com o método ReCiPe. As categorias têm seus valores expressos respectivamente em m³, kg de ferro equivalente e kg de óleo equivalente.

Figura 24 – Potencial de depleção abiótica do ciclo de vida dos postes para o método ReCiPe



Da mesma maneira, de acordo com este método os postes de concreto apresentam maior potencial de impacto ambiental no que diz respeito à depleção abiótica, mesmo que neste caso seja dividido em depleção fóssil, da água e de metais.

Nesta categoria não foi possível realizar a comparação da magnitude dos impactos entre os diferentes métodos de avaliação utilizados, pois as substâncias que são consideradas na quantificação dos impactos são diferentes. Porém, chegou-se num consenso de que, para a categoria de depleção abiótica, os postes de concreto assumem valores maiores que os postes de madeira.

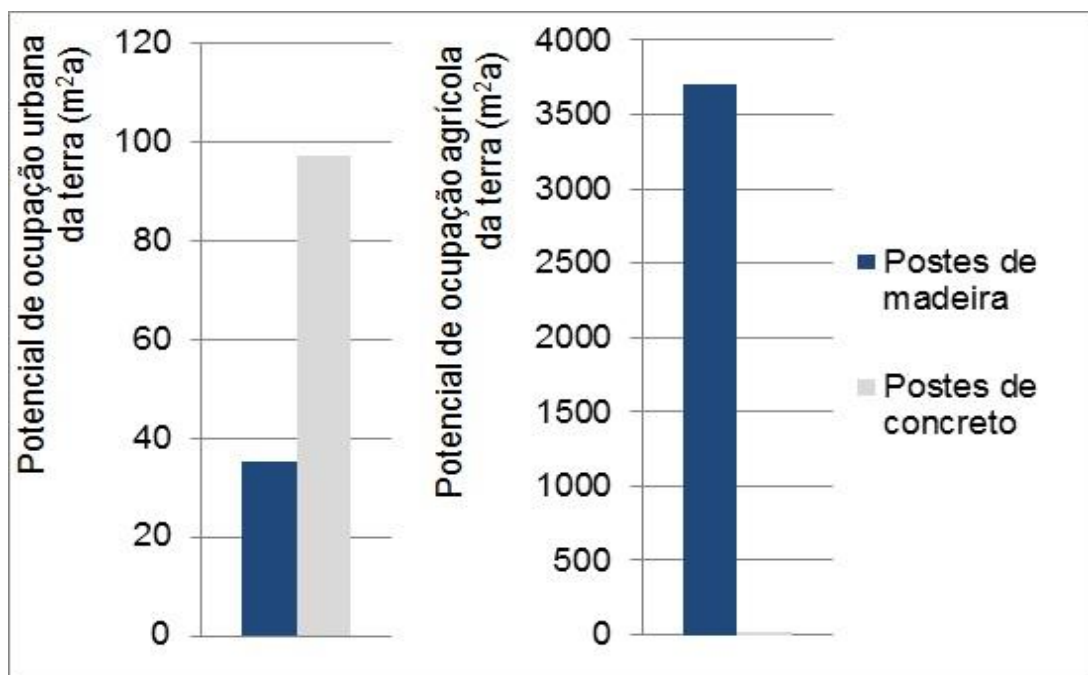
A análise do processo para ambos os métodos indicou que a extração de carvão e gás natural (utilizados na geração de energia da etapa de produção de cimento) foi a principal responsável pelo impacto para os postes de concreto (no caso do método ReCiPe, esta contribuição diz respeito à depleção fóssil). Ainda, a extração de petróleo para a produção de combustíveis contribuiu significativamente (ocorrendo

para ambos os tipos de postes). Em relação à categoria depleção de metais do método ReCiPe as principais contribuições foram na produção do aço de armação presente nos postes de concreto e na produção da substância preservativa do poste de concreto (contendo metais pesados). Para a categoria de depleção da água os postes de concreto tiveram valores elevados principalmente pelo consumo deste recurso durante a etapa de fabricação, na própria mistura do concreto.

5.11.1.7. Potencial de ocupação da terra

A comparação entre os postes de madeira e de concreto para a categoria de depleção abiótica foi realizada somente através do método ReCiPe, já que esta categoria não está presente no método CML 2001. Esta categoria está dividida em ocupação urbana e agrícola. A figura 25 ilustra os potenciais de ocupação urbana e agrícola da terra do ciclo de vida dos postes para o método ReCiPe, expressos em m^2a (metros quadrados por ano).

Figura 25 – Potencial de uso da terra do ciclo de vida dos postes para o método ReCiPe



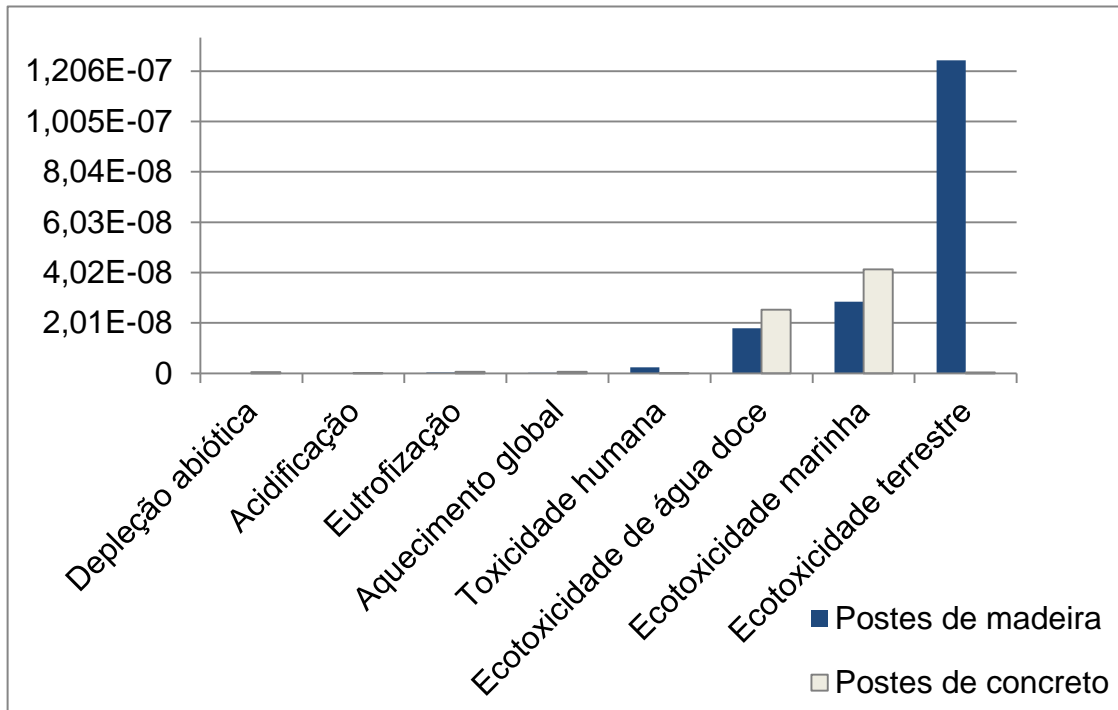
Os postes de concreto apresentam maior potencial de impacto ambiental para a categoria de ocupação urbana da terra, porém os postes de madeira apresentaram maior potencial de impacto para a categoria de ocupação agrícola da terra.

A análise do processo permitiu verificar que a área urbana ocupada pelo o ciclo de vida dos postes de concreto é maior área do que a área urbana ocupada no ciclo de vida dos postes de madeira. Já em relação à ocupação agrícola, o cultivo de eucalipto citriodora para a fabricação de postes de madeira faz com que estes tenham maior potencial de impacto nesta categoria.

5.11.2. Normalização

Esta etapa de AIA tem a função de relacionar os resultados obtidos a partir das diferentes categorias numa base comum de referência, e para isso, as variáveis são equalizadas, logo, são adimensionais. Assim, torna-se possível uma melhor compreensão da magnitude dos potenciais impactos ambientais para cada categoria. A figura 26 ilustra os potenciais impactos ambientais normalizados dos postes para o método CML 2001. Foi utilizada a abordagem mundial e o ano de referencia de 1995.

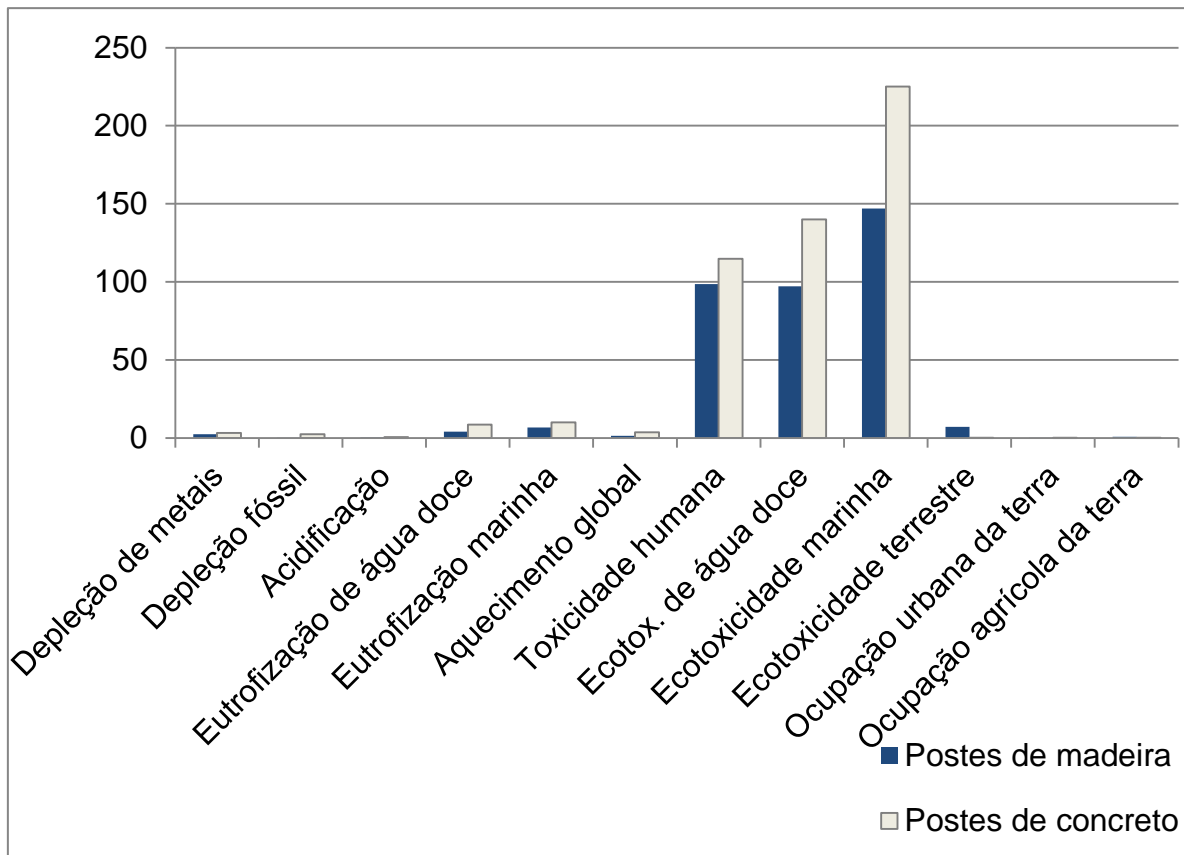
Figura 26 – Potenciais impactos ambientais dos postes normalizados para o método CML



Para o método CML 2001, as categorias com maior participação relativa nos impactos potenciais identificados foram ecotoxicidade terrestre, marinha e de água doce. Na maioria das categorias foi identificado que os postes de concreto apresentam potenciais impactos ambientais superiores em relação aos postes de madeira. Porém, para a categoria de ecotoxicidade terrestre este quadro se inverte, sendo que esta categoria possui maior magnitude de impacto do que as outras.

A figura 27 ilustra os potenciais impactos ambientais normalizados dos postes para o método ReCiPe. Foi utilizada a abordagem mundial.

Figura 27 – Potenciais impactos ambientais dos postes normalizados para o método ReCiPe.



Com base nos resultados normalizados para o método ReCiPe, percebe-se que as categorias de toxicidade humana, ecotoxicidade de água doce e marinha tiveram maior participação relativa nos impactos potenciais dos postes, sendo superiores para os postes de concreto.

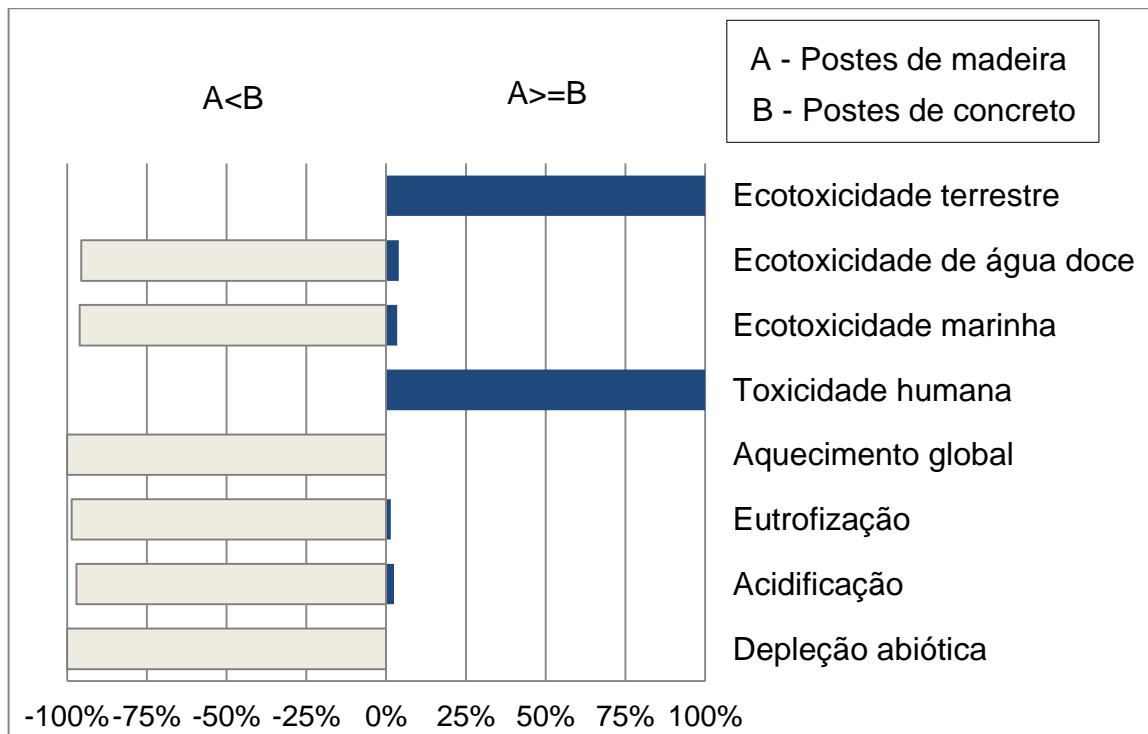
Desta maneira, fica destacada a relevância das categorias de toxicidade humana e do ambiente no que diz respeito ao ciclo de vida dos postes.

5.12. Interpretação de resultados e discussão

5.12.1. Análise de incerteza

Foi realizada uma análise de incerteza dos resultados da fase de avaliação de impactos ambientais a partir da técnica de Monte Carlo, baseada nos valores de desvio padrão relativo que foram inseridos no inventário para cada dado coletado. Para a confirmação do resultado, os impactos de determinado tipo de poste devem ter pelo menos 90% de probabilidade de ser superior ao outro tipo de poste, verificado para cada categoria (PRé Consultants, 2010). A figura 28 ilustra a comparação dos impactos ambientais dos postes para o método CML 2001 sob esta perspectiva.

Figura 28 – Incerteza dos impactos ambientais dos postes para o método CML 2001

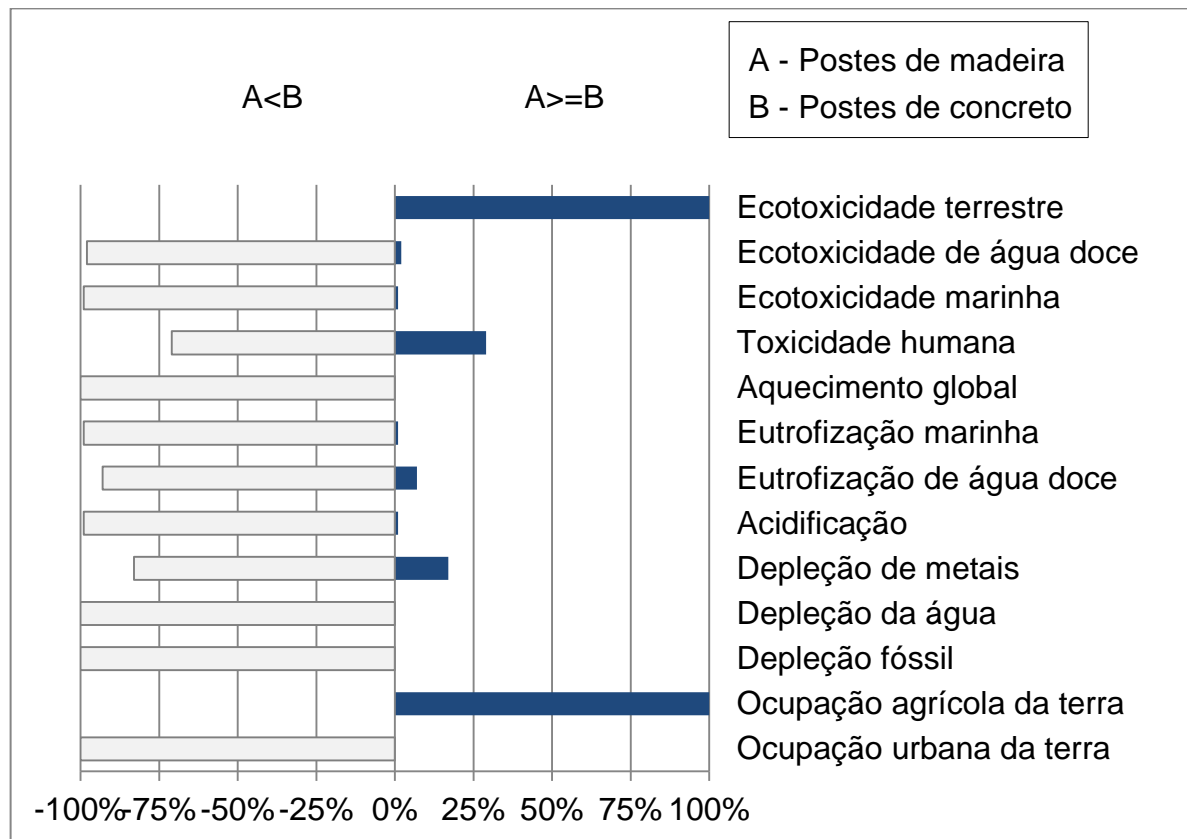


Conforme pode ser observado, para o método CML 2001, a probabilidade dos postes de concreto ser mais impactantes do que os postes de madeira para as categorias de acidificação, aquecimento global, ecotoxicidade aquática, depleção abiótica e eutrofização está na faixa de 99-100%. Já para as categorias de

ecotoxicidade terrestre e toxicidade humana os postes de madeira apresentam maior impacto com uma probabilidade de aproximadamente 100%.

A figura 29 ilustra a comparação dos impactos ambientais dos postes para o método ReCiPe sob a perspectiva da análise de incerteza.

Figura 29 – Incerteza dos impactos ambientais dos postes para o método ReCiPe



De acordo com a análise do método ReCiPe, a probabilidade dos postes de concreto ser mais impactantes do que os postes de madeira para as categorias de acidificação, eutrofização marinha, aquecimento global, ecotoxicidade aquática (de água doce e marinha), depleção fóssil, depleção da água e ocupação urbana da terra esta na faixa de 99-100%.

Para as categorias de ecotoxicidade terrestre e ocupação agrícola da terra os postes de madeira apresentam maior impacto com uma probabilidade de aproximadamente 100%. Já para a categoria de toxicidade humana, os postes de concreto apresentam uma probabilidade de aproximadamente 74% de seus impactos serem maiores do que dos postes de madeira. Neste caso, não se pode afirmar qual tipo de poste apresenta maior potencial de impacto. Porém, assumiu-se neste estudo que os

postes de madeira são mais impactantes do que os postes de concreto para a categoria de toxicidade humana, já que isto foi verificado no método CML 2001 com 100% de probabilidade.

Para a categoria de eutrofização da água doce, o método ReCiPe indica a probabilidade de aproximadamente 95% dos impactos serem maior para os postes de concreto. Ainda para este método, na categoria de depleção de metais, os postes de concreto apresentam uma probabilidade de aproximadamente 84% de seus impactos serem superiores aos postes de madeira. Assim, não é possível afirmar qual tipo de poste é mais impactante para esta categoria, porém assume-se que o potencial impacto dos postes de concreto são maiores para a categoria de depleção abiótica, de acordo com as demais verificações do método CML 2001 e ReCiPe (neste último somente para depleção fóssil e depleção da água).

Assim, conclui-se que os postes de concreto apresentam maiores impactos ambientais em relação aos postes de madeira nas categorias de acidificação, aquecimento global, ecotoxicidade marinha, ecotoxicidade de água doce, depleção abiótica, eutrofização e ocupação urbana da terra. Já para as categorias de ecotoxicidade terrestre, toxicidade humana e ocupação agrícola da terra este quadro se inverte.

5.12.2. Análise de sensibilidade

Esta análise foi realizada somente para o método CML 2001, já que tem por objetivo verificar as alterações nos impactos ambientais diante de determinadas suposições, dispensando a comparação de diferentes resultados já que os reflexos são similares em ambos os métodos.

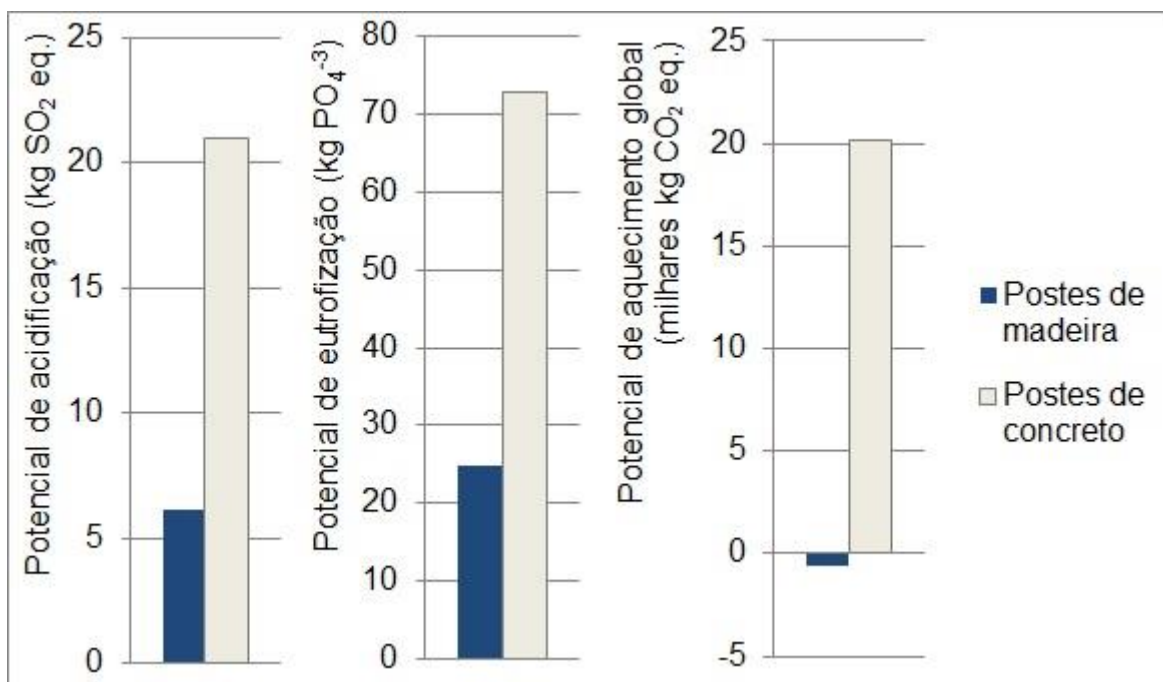
5.12.2.1. Retenção de CCA-C

Considerando um aumento na taxa de aplicação de preservativo CCA – tipo C no tratamento da madeira, a fim de promover uma elevação da vida útil durante o uso (pois a madeira sofrerá menos com o ataque biológico), um menor número de postes de madeira deverá ser utilizado em relação à quantidade de postes de concreto. Assim, foram analisados os impactos ambientais diante de uma taxa de retenção de $19,2 \text{ kg.m}^{-3}$ (dobro da taxa recomendada na norma 8458:1984), e assumindo que, a partir disso, a vida útil dos postes de madeira poderá se igualar à dos postes de concreto (30 anos). Deve-se evidenciar que esta retenção tem efeito de cálculo, já que, de acordo com a norma não seria possível utilizá-la já que os postes estariam fora do padrão.

A partir dessa modificação, os potenciais impactos de toxicidade humana e ecotoxicidade terrestre permanecem inalterados, já que, os valores de retenção e lixiviação foram multiplicados por dois, porém o número de postes utilizados foi dividido pela metade.

Os potenciais impactos das categorias de depleção abiótica, ecotoxicidade marinha e de água doce tiveram pouca variação em relação à retenção de $9,6 \text{ kg.m}^{-3}$. A figura 30 ilustra os reflexos dessa modificação nos impactos ambientais dos postes para as categorias de acidificação, eutrofização e aquecimento global de acordo com o método CML 2001.

Figura 30 – Principais influências nos impactos ambientais dos postes pela variação da retenção de CCA-C (CML 2001)

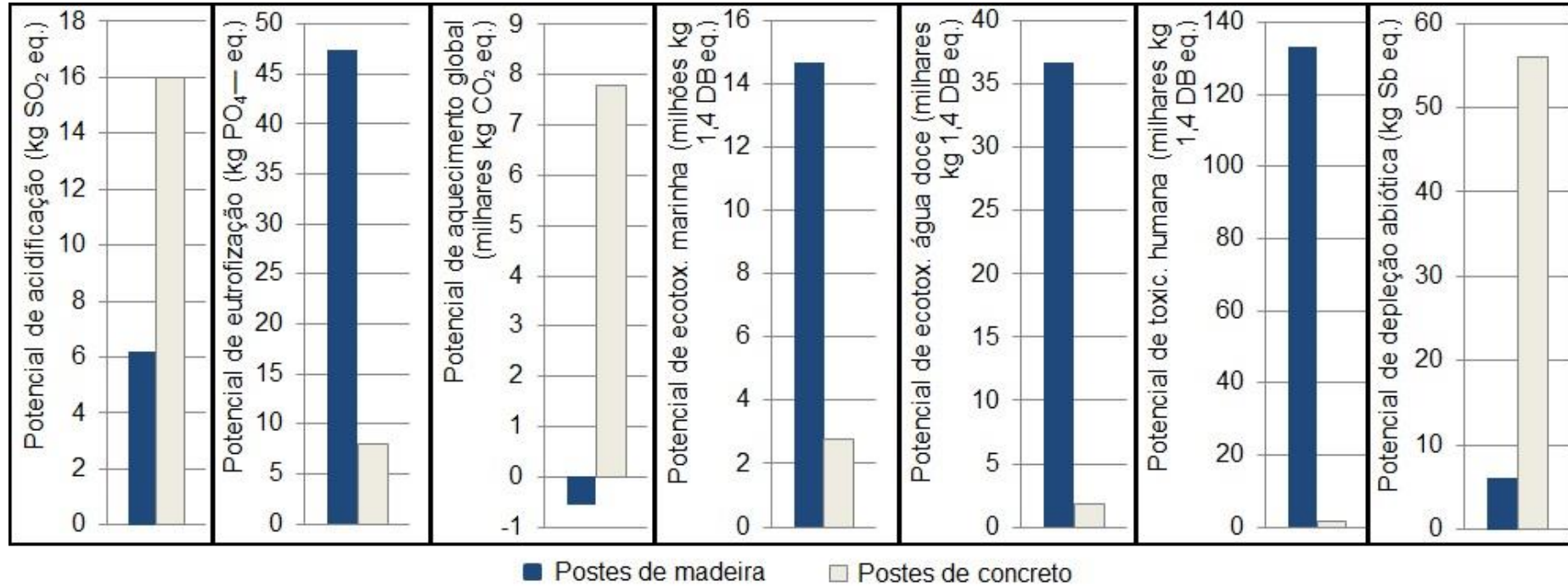


De acordo com a análise realizada anteriormente, os impactos dos postes de madeira foram reduzidos em função da menor quantidade de postes considerada para suprir o período de 30 anos.

5.12.2.2. Destinação final do concreto

No cenário de destinação final dos postes de concreto, considerou-se que os resíduos de concreto ao invés de serem destinados para aterro, seriam reciclados, como por exemplo, para uso em pavimentação asfáltica servindo como agregado. Esta modificação resultou que os potenciais impactos ambientais das categorias de acidificação, eutrofização, aquecimento global, toxicidade humana, depleção de recursos, ecotoxicidade marinha e de água doce sofreram considerável variação, conforme mostrado na figura 31 para o método CML 2001, sendo que a categoria de ecotoxicidade terrestre apresentou variação irrelevante e por isso não está incluída.

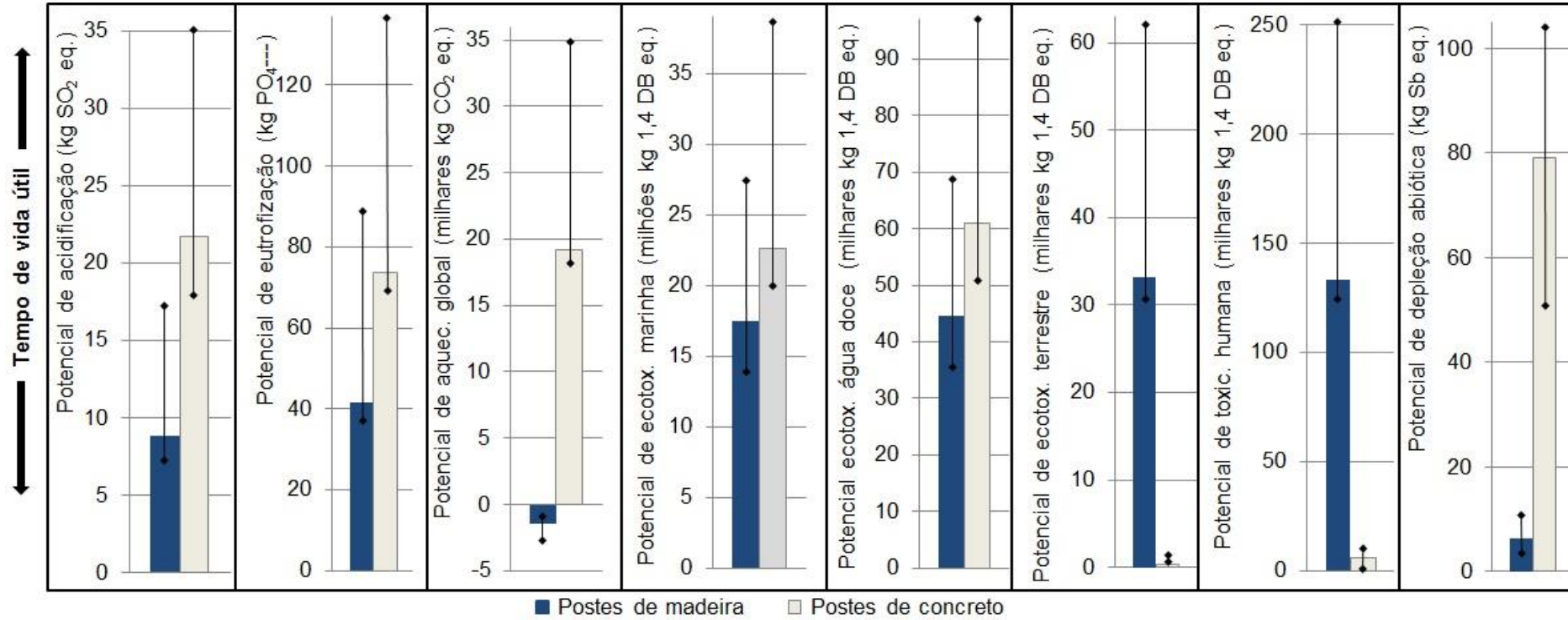
Figura 31 – Principais influências nos impactos ambientais dos postes pela mudança na destinação final do resíduo de concreto (CML 2001)



5.12.2.3. Tempo de vida útil

Os resultados da ACV foram analisados juntamente com a aplicação do Método Fatorial. Como foi visto na etapa do ciclo de vida referente ao uso e manutenção, para 30 anos de funcionamento da rede seriam necessários 50 postes de madeira (para uma vida útil de 15 anos) e 25 postes de concreto (para uma vida útil de 30 anos). Ao considerarmos a variabilidade dos valores de vida útil estimados na ACV, nota-se que, os impactos ambientais variam proporcionalmente. Por exemplo, se os postes durarem mais tempo, será necessário uma taxa menor de substituição. Logo, menos recursos serão consumidos e conseqüentemente os impactos ambientais serão reduzidos. A figura 32 ilustra o potencial de modificações nos impactos ambientais dos postes (de acordo com o método CML 2001) proporcionadas pela variabilidade do tempo de vida útil que estão sujeitos conforme observado nos histogramas apresentados no capítulo 4 (figuras 05 e 06).

Figura 32 – Influências nos impactos ambientais dos postes pela variação do tempo de vida útil (CML 2001)



Assim quanto maior o tempo de vida útil, menor é o potencial de impactos ambientais, e vice versa. Ao substituir os tempos de vida para os valores mínimos obtidos nos histogramas (8 anos para os postes de madeira e 16 anos para os postes de concreto, considerando um intervalo de confiança de 95%), o número de postes utilizados em 1 km de rede num horizonte de 30 anos se eleva para 94 postes de madeira e 47 postes de concreto, ou seja, maior demanda de recursos e consequentemente maiores impactos ambientais.

Da mesma maneira se forem considerados os maiores valores de tempo de vida útil obtidos nos histogramas, menos postes e menos recursos serão necessários para suprir a rede no período determinado.

Esta variabilidade nos impactos ambientais foi assumida somente em função do tempo de vida, sem levar em consideração modificações no inventário, porém, para que os impactos ambientais sejam quantificados com precisão a partir da variabilidade do tempo de vida útil, deve ser elaborada uma atualização do inventário para cada situação, levando em consideração novos insumos (se houver), como por exemplo, o retratamento da base do poste de madeira.

5.12.2.4. Outras análises realizadas

Algumas das análises de sensibilidade que foram realizadas resultaram numa pequena redução dos impactos ambientais, que quando verificadas separadamente, suas influências apresentaram menor relevância para o produto estudado. As verificações foram:

A diminuição do consumo de clínquer na produção de cimento reduz os impactos ambientais dos postes de concreto relacionados à acidificação, aquecimento global e depleção abiótica. Esta redução do consumo de clínquer pode ocorrer a partir da utilização de escória de alto forno na mistura (JOHN & AGOPYAN, 2000).

Em se tratando de monoculturas, o uso de fertilizantes e de pesticidas são práticas amplamente difundidas em todo o mundo. A diminuição do consumo destas substâncias na etapa de cultivo do eucalipto reduz os potenciais impactos

ambientais dos postes de madeira relacionados principalmente à acidificação e eutrofização. Para isso, cita-se como exemplo o cultivo orgânico ou agroflorestal, que por meio de um manejo ecológico permite a eliminação de pragas através do próprio controle biológico. A diversidade de espécies proporcionadas por este tipo de cultivo permite uma maior fertilidade do solo. Para a implantação destas técnicas, é necessário enfrentar diversas barreiras técnicas e políticas, além de um maior planejamento do setor, pois inclusive, há a geração de novos produtos. Além disso, há uma redução no consumo do combustível que seria necessário para a aplicação destas substâncias.

A diminuição das distâncias de deslocamento referentes ao transporte de matérias primas e dos postes reduz os potenciais impactos ambientais principalmente para as categorias de aquecimento global, acidificação e depleção abiótica, em função da diminuição das emissões provenientes deste processo e do consumo de combustível fóssil. Este impacto pode ser reduzido à medida que os centros de produção das matérias primas se encontrem mais próximos dos locais de fabricação. Também, durante a instalação e manutenção da rede, deve ocorrer um bom gerenciamento que permita realizar as substituições necessárias reduzindo o número de deslocamentos.

6. CAPÍTULO VI – CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1. Conclusão

O estudo contribuiu para a identificação e análise dos impactos ambientais dos postes de madeira e de concreto. Os resultados da ACV permitiram concluir que a utilização de postes de madeira, em comparação com a utilização de postes de concreto, proporciona menor potencial de impacto nas categorias de aquecimento global, acidificação, eutrofização, ecotoxicidade aquática, depleção abiótica e ocupação urbana da terra, porém com elevado potencial de impacto para as categorias de ecotoxicidade terrestre, toxicidade humana e ocupação agrícola da terra.

A análise de sensibilidade permitiu verificar quais modificações no ciclo de vida dos postes apresentaram potencial de redução de seus impactos ambientais. A taxa de retenção do preservativo de madeiras e a reciclagem do concreto são fatores de forte influência nos impactos ambientais. Ainda, algumas reduções no deslocamento percorrido pelas matérias primas, do uso de clínquer na produção de cimento e do consumo de insumos agrícolas podem contribuir com a melhoria do desempenho ambiental destas estruturas.

Foi observado que os potenciais impactos ambientais dos postes podem ser reduzidos ou aumentados numa proporção que depende do tempo de vida útil atribuído para estas estruturas. Desta maneira, o prolongamento do tempo de vida útil dos postes, por fatores como qualidade do material, adequações de projeto, manutenção periódica e etc., é uma forma efetiva de redução dos impactos ambientais.

Neste estudo, os resultados quantitativos da ACV sofreram uma variação em função do parâmetro “tempo de vida útil” de até 50%, influenciados por determinadas situações especificadas. Por isto, para desenvolver uma avaliação de ciclo de vida, o valor do tempo de vida útil mais condizente com a realidade é imprescindível.

6.2. Dificuldades encontradas

Na ACV, muitos dos dados utilizados não são integralmente representativos da realidade brasileira, pois foram adaptados de base de dados estrangeiras, sem que houvesse uma análise minuciosa de sua origem, qualidade e representatividade. Para a compatibilidade do inventário nacional referente aos postes, necessita-se de um banco de dados que satisfaça as condições locais. No momento, são utilizados processos provenientes principalmente da Europa, Ásia e América do Norte. Com isso, diferenças na tecnologia e nos próprios materiais podem surgir.

Inicialmente havia uma proposta de estimar a vida útil dos postes através da análise de sobrevivência, utilizando um histórico de dados com as datas de entrada e saída dos postes da rede da COELBA. Porém, mesmo com a busca por estas informações, não foi possível obtê-las, já que, foi informado em visita técnica que só havia as datas de instalação dos postes, e não de retirada. A partir disso, procurou-se por alternativas para a estimativa de vida útil, se destacando o método fatorial.

6.3. Sugestões de continuidade

O estudo pode ser melhorado com um maior número de informações provenientes de fontes primárias, e teve suas limitações pela dificuldade de acesso a estas informações. Espera-se, contudo, que trabalhos futuros aumentem as fronteiras do sistema, diminuindo o grau de incerteza.

Podem ser analisados novos materiais, como o poste metálico ou de fibra de vidro. Existem diversos tratamentos químicos para a madeira, podendo ser verificado também as diferenças entre as alternativas e seus respectivos impactos ambientais, com destaque para o AZOLE.

Outros cenários de destinação final podem ser verificados, por exemplo, a incineração controlada dos postes de madeira. Sugere-se que sejam analisados os impactos dos postes com dados e fatores de correlação brasileiros, principalmente

para as categorias de acidificação e eutrofização (abrangência regional), já que os métodos de avaliação de impacto disponíveis são de abrangência global, ou em outros casos, abrangem os continentes Norte Americano e Europeu.

Em relação ao método fatorial, sua aplicação pode ser melhorada a partir de uma análise de incerteza. Ainda, podem ser desenvolvidos novos fatores para aumentar a realidade da estimativa.

6.4. Publicações associadas a esta dissertação

6.4.1. Publicadas

- Avaliação do ciclo de vida de componentes do sistema de distribuição de energia elétrica. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 27º. Goiânia/GO. ABES, 2013.

6.4.2. Em andamento

- *Life cycle assessment and estimate of service lifetime of utility poles*. In: *International Conference on Environmental Sciences*, 3rd. Dubai. 2014. Periódico da publicação: *International Journal of Environmental Sciences*.
- Avaliação do ciclo de vida de postes de madeira de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* tratado com CCA–C. Revista *Árvore*. Submetido em fevereiro de 2014.

6.5. Referências bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14040: Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida: Princípios e estrutura. International Organization for Standardization (ISO). 2009.

_____. NBR ISO 14044: Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida: Requisitos e orientações. International Organization for Standardization (ISO). 2009.

_____. NBR 8451: Postes de concreto armado para redes de distribuição de energia elétrica – especificação. 1998.

_____. NBR 8456: Postes de eucalipto preservado para redes de distribuição de energia elétrica – especificação. 1984.

AKTAS, Can B. Impact of product lifetime on life cycle assessment results. 2011. 139p. Tese (doutorado). University of Pittsburgh, Pittsburgh.

ALENCASTRO, Jocarli Itamirã Duarte. Caracterização mecânica de postes de eucalipto utilizados em redes de distribuição de energia elétrica. 2010. 165 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Materiais) Faculdade de Engenharia, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

ALTHAUS H.; DOKA G.; DONES R.; HECK T.; HELLWEG S.; HISCHIER R.; NEMECEK T.; REBITZER G.; SPIELMANN M. Ecoinvent Report Nº 1: Overview and Methodology. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, 2004.

ALVARENGA, Rodrigo Augusto Freitas de. Avaliação de métodos de AICV: Um estudo de caso de quatro cenários de ração para frangos de corte. 2010. 158p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

AMARAL, Lucas Soares. Penetração e retenção do preservante em Eucaliptus com diferentes diâmetros. 2012. 82 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia) Universidade Federal de Lavras, Lavras/MG.

ANDRADE, T. C. G. R.; OLIVEIRA, H. R.; SILVA, J. O. V.; MASCARENHAS, D. V. B.. Estimativa dos resíduos gerados na cultura do eucalipto (*Eucalyptus spp.*) no estado do Tocantins. In: Simpósio nacional de biocombustíveis, 2º. 2009. Recife/PE.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Estudo de Vida Útil Econômica e Taxa de Depreciação. Volume 1/2. 2000. Escola Federal de Engenharia de Itajubá.
CERNE - Centro de Estudos em Recursos Naturais e Energia.

_____. Vidas úteis de bens e instalações do setor elétrico. Nota técnica nº 368. 2010. Brasília.

APPEL, Júlio S. L. et al. Aspectos toxicológicos do preservativo de madeira CCA (arseniato de cobre cromatado): revisão. 2006. Revista Brasileira de Toxicologia, 19, p. 33-47.

BENEDET Jr., Gilberto. Avaliação de incertezas em inventários do ciclo de vida. 2007. 78 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

BENJAMIN, Cláudia Assumpção. Estudo da estrutura anatômica e das propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* e *Eucalyptus grandis*. 2006. 180 p. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista, Botucatu/SP.

BOLIN, Christopher A.; SMITH, Stephen T. Life cycle assessment of pentachlorophenol-treated wooden utility poles with comparisons to steel and concrete utility poles. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15, p. 2475-2486, 2011.

BRANDER, M.; TIPPER, R.; HUTCHISON, C.; DAVIS, G.; *Consequential and Attributional Approaches to LCA: a Guide to Policy Makers with Specific Reference to Greenhouse Gas LCA of Biofuels. Technical Paper*. Ecometrica Press, 2009.

CRUZ, Clair Rogério; LIMA, José Tarcísio; MUNIZ, Graciela Inês Bolzon. Variações dentro das árvores e entre clones das propriedades físicas e mecânicas da madeira de híbridos de Eucalyptus. Scientia Forestalis, n.64, p.33-37, 2003.

CURRAN, Mary Ann. Life cycle assessment: principles and practice. 2006. Technical Report of National risk management research laboratory office of research and development U.S. Environmental Protection Agency (EPA). Cincinnati, Ohio.

DIAS, Marcos Vitor Fabro; *et al.* Panorama da industria de artefatos de concreto, cimento e fibrocimento no Paraná. 2008. Gerência de Geologia Aplicada à Produção Mineral. Curitiba.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2003. Disponível em:<<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Eucalipto/CultivodoEucalipto/index.htm> > Acesso em: 18 de março de 2013.

EPA (Environmental Protection Agency). Emission Factor Documentation for AP-42. Fertilizer Application. 1998. United States.

ERLANDSSON M.; ÖDEEN K.; EDLUD M. L.: Environmental consequences of various materials in utility poles – A life cycle analysis. In: Proceedings of the 23. IRG Annual Meeting of IRG, IRG Doc. No. WP/3726- 92, Stockholm. 1992.

EUCALIPTO, O. Cartilha de discussão sobre o cultivo de Eucalipto. Minas Gerais: Assembléia de Minas, 2004.

FERNANDES, Ittana de Oliveira Lins. Avaliação energética e ambiental da produção de óleo de dendê para biodiesel na região do baixo sul, Bahia. 2009. 151 p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente). Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus.

FERRARINI, Suzana Frighetto; *et al.* Classificação de resíduos de madeira tratada com preservativos à base de arseniato de cobre cromatado e de boro/flúor. *Quím. Nova* [online]. 2012, vol.35, n.9, p. 1767-1771.

FILHO, Estefano Paludzyszyn; PACHECO, Abílio Rodrigues; DITTMAR, Herbert; CORDEIRO, César Antônio. Estratégias para o melhoramento de eucaliptos tropicais na Embrapa. 2004. Colombo: Embrapa Florestas. Documentos, 99.

FREITAS, Roberto Ramos de. Modelo técnico experimental de deterioração de poste de madeira aplicado ao Estado de São Paulo. 2009. 299 p. Tese (Doutorado em Desenvolvimento, Caracterização e Aplicação de Materiais) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

GERALDO, Flávio Carlos. A madeira de eucalipto para postes. *Revista da Madeira*, setembro, 2001. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_capa.php?edicao=59> Acesso em: 20 de setembro de 2012.

GOEDKOOPE, M.; *et al.* *ReCiPe 2008 – a life cycle impact assessment method which comprises harmonized category indicators at the midpoint and the endpoint level. 2009. Report I: Characterisation.*

GONÇALVES, Fabricio Gomes. Avaliação da qualidade da madeira de híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla x grandis* para produtos sólidos. 2006. 169p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre.

GRANATA, C.A.V.; MACEDO, A.B.R.; NOGUEIRA, M.M. Inovações tecnológicas na manutenção de sistemas de transmissão subterrânea. 2001. In: Congresso de inovação tecnológica em energia elétrica, 1. Brasília/DF.

HEDLEY, Michael D. An assessment of risks associated with use of CCA-treated timber in sensitive environments and options for its substitution with alternative timber materials. 1997. Conservation Advisory Science Notes, 154, Department of Conservation. Wellington, New Zeland.

HILLIER W.; MURPHEY R. J.; DICKINSON D. J.; BELL J. N. B.: Life cycle assessment and its application to preservative treated timber products. 1994. Paper presented at the WEI spring meeting. West European Institute for Wood Preservation (WEI), Brussels.

_____. Life cycle assessment and its application to treated timber products. In: Life cycle environmental impact analysis for forest products. 1996. Forest Products Society, Madison/WI.

_____. The risk of life cycle impact assessment for preservative treated timber products. 1997. In: Proceedings of the WEI-Congress, WEI Document 2601, Oslo.

HOVDE, P.J.; MOSER, K. Performance Based Methods for Service Life Prediction: State of the Art Report. 2004. CIB Report: Publication 294.

HRASNICA, H.; HAIDINE, A.; LEHNERT, R. Broadband powerline communications networks: network design. Londres: John Wiley & Sons, 2004.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Indicadores de desenvolvimento sustentável. 2010. Rio de Janeiro: série “Estudos & Pesquisas Informações Econômicas”, n.7.

IPCC. *Intergovernmental Panel on Climate Change. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: Agriculture, Forestry and other Land Use.* Kanagawa: IGES, 2006.

ISO 15.686: 2011. *International Standard Organization. Buildings and Constructed Assets – Service Life Planning (parts 1 to 10)*, Geneve.

JOHN, Vanderley. M.; *et al.* Durabilidade e sustentabilidade: desafios para a construção civil brasileira. In: Workshop sobre durabilidade das construções. Novembro. São José dos Campos, 2001.

_____; AGOPYAN, Vahan. Reciclagem de escória de alto forno no Brasil. In: Seminário nacional sobre reuso/reciclagem de resíduos sólidos industriais. São Paulo, 2000.

JOUKOSKI, Alex. Estudo do desempenho de concretos para artefatos de redes de distribuição de energia elétrica destinadas a ambientes litorâneos. 2003. 264 p. Dissertação (Mestrado em materiais e processos). Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

KIPERSTOK, Asher; *et al.* Avaliação do Ciclo de Vida de Componentes do Sistema de Distribuição de Energia Elétrica. 2009. Projeto COELBA/ANEEL desenvolvido pela UFBA/UNB. Relatório Pesquisa e Desenvolvimento.

KUNNIGER, Tina; RICHTER, Klaus. Life Cycle Analysis of Utility Poles, A Swiss Case Study. 1995. In Proceedings of the 3rd International Wood Preservation Symposium: The Challenge - Safety and Environment. Cannes-Mandelieu, France.

_____. Comparative life cycle analysis of Swiss railroad sleepers. 1998. Annual meeting of the international research group on wood preservation (IRG/WP), 29th. Maastricht.

LEBOW, Stan; TIPPIE, Michael. Guide for Minimizing the Effect of Preservative-Treated Wood on Sensitive Environments. 2001. General Technical Report. United States Department of Agriculture. Forest Service.

LEBOW, Stan; COOPER, Paul; LEBOW, Patrícia. Variability in Evaluating Environmental Impacts of Treated Wood. 2004. In: Proceedings of Environmental Impacts of Preservative-Treated Wood Conference. Orlando, Florida.

LEYTON, Karen. Dinâmica de florestas nativas em áreas de expansão de Eucalipto no Estado de São Paulo. 2008. 81p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Escola superior de agricultura “Luiz de Queiroz”, São Paulo.

LIMA, Ângela Maria Ferreira. Avaliação do ciclo de vida no Brasil – inserção e perspectivas. 2007. 116 p. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo) Universidade Federal da Bahia, Salvador.

LIMA, Rodrigo Costa de Souza. Método para posicionamento estratégico sustentável no desenvolvimento de um novo produto. 2010. 143 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo.

MAURY DE CARVALHO, Maria Beatriz. Impactos e conflitos da produção de cimento no Distrito Federal. 2008. 187p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável) Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília.

MERCER, T. G.; FROSTICK, L. E. Leaching characteristics of CCA-treated wood waste: A UK study. *Science of the Total Environment*, 427-428, p. 165-174. 2012.

MOREIRA, Heloísa Pimentel; Figueiredo Enio Pazini; HELENE, Paulo. Avaliação da influência de alguns agentes agressivos na resistência à compressão de concretos amassados com diferentes tipos de cimentos brasileiros. 2001. 17p. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo.

MOURÃO, Dalila Karla. Injeção de resinas em estruturas de concreto armado. 2010. 42 p. Monografia (Especialização em Construção Civil) Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia. Belo Horizonte.

MURPHEY, R.J; HILLIER, W.: Life cycle assessment of treated wood products. In: Anonymous (ed), *Wood preservation in the 90s and beyond*; Proceedings No. 7308, Forest Products Society, Madison, WI, pp 49–60. 1995.

OLIVEIRA, José Tarcísio da Silva; HELLMEISTER, João César; SIMÕES, João Walter; FILHO, Mário Tomazello. Caracterização da madeira de sete espécies de eucaliptos para a construção civil: 1- avaliações dendrométricas das árvores. *SCIENTIA FORESTALIS*. 56, p. 113-124. 1999.

PIEKARSKI, Cassiano Moro; LUZ, Leila Mendes da; ZOCHE, Lidiana; FRANCISCO, Antonio Carlos de. Métodos de avaliação de impactos do ciclo de vida: uma discussão para adoção de métodos nas especificidades brasileiras. *Revista Gestão Industrial*. 2012.

PRÉ CONSULTANTS. Introduction to LCA with SimaPro 7. 2010. San Francisco, Califórnia.

REBITZER, G. *et al.* Life cycle assessment. Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. *Environment international*, 30, p. 701-720. 2004.

RIBEIRO, Paulo H. Modelagem de sistemas de produto em estudos de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). 2004. 135 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Química, Universidade de São Paulo, São Paulo.

ROQUE, James Antonio; JUNIOR, Armando Lopes Moreno. Considerações sobre vida útil do concreto. 2005. 1º Encontro nacional de pesquisa-projeto-produção em concreto pré-moldado. São Carlos.

RUSSELL, A.; EKVALL, T; BAUMANN, H. Life cycle assessment e introduction and overview. Editorial. *Journal of Cleaner Production*. 13, p. 1207-1210. 2005.

SETAC - Society for Environmental Toxicology and Chemistry. Guidelines for Life-Cycle Assessment: A Code of Practice. 1ª edição. 1993.

SALLES, Ana Claudia Nioac. Emissões de gases do efeito estufa dos dormentes de ferrovia de madeira natural e de madeira plástica no Brasil e na Alemanha com base nos seus ciclos de vida. 2009. 218 p. Tese (Doutorado em Planejamento Energético). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

SANTI, Auxiliadora Maria Moura. Co-incineração e co-processamento de resíduos industriais perigosos em fornos de clínquer: investigação no maior pólo produtor de cimento do País, Região Metropolitana de Belo Horizonte, MG, sobre os riscos ambientais, e propostas para a segurança química. 2003. 227p. Tese (Doutorado). Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

SANTOS, Marisa Raquel Pinto. Metodologias de previsão da vida útil de materiais, sistemas ou componentes da construção. Revisão bibliográfica. 2010. 149 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto.

SCS GLOBAL SERVICES. *Environmental life cycle assessment of southern yellow pine wood and North American galvanized steel utility distribution poles*. 2013. *Scientific Certification Systems, Emeryville, California*.

SEDJO, Roger A. Wood materials used as a means to reduce greenhouse gases (GHG): An examination of wooden utility poles. 2001. North American Wood Pole Coalition. Technical Bulletin.

SEO, Emilia Satoshi Miyamaru; KULAY, Luiz Alexandre. Avaliação do ciclo de vida: ferramenta gerencial para tomada de decisão. *Revista de gestão integrada em saúde do trabalho e meio ambiente*, 2006.

SILVA, André Luiz Ribeiro Tachard da. Desenvolvimento de fatores de normalização de impactos ambientais regionais para avaliação do ciclo de vida de produtos no estado de São Paulo. 2010. 168 p. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia

Ambiental). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

SILVA, Diogo Aparecido Lopes. Avaliação do ciclo de vida da produção do painel de madeira MDP no Brasil. 2012. 207 p. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia de Materiais). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

SOUSA, Sabrina Rodrigues. Normalização de critérios ambientais aplicados à avaliação do ciclo de vida. 2008. 73 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SUGAWARA, Eduardo Toshio. Comparação dos desempenhos ambientais do B5 etílico de soja e do óleo diesel, por meio da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). 2012. 240 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Universidade de São Paulo, São Paulo.

UDO DE HAES, H. A.; ROOIJEN, M. V. Life cycle approaches: The road from analysis to practice. França: United Nations Environment Programme/Life Cycle initiative, 2005.

UNEP. Global Guidance Principles for LCA, 2011. Disponível em <http://www.unep.org/pdf/UNEP_LifecycleInit_Dec_FINAL.pdf> Acessado em: 27 nov. 2012.

VALVERDE, Sebastião Renato. Esclarecimentos sobre as plantações de eucalipto no Brasil. Centro de Inteligência em Florestas. Texto Técnico. 2009.

_____. Plantações de Eucalipto no Brasil. Revista da Madeira, setembro, 2007. Disponível em: http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_capa.php?edicao=107> Acesso em: 07 de dezembro de 2012.

_____; SOARES, Naisy Silva; SILVA, Márcio Lopes; *et al.* Reflexões sobre o mercado da madeira de eucalipto no Brasil. Centro de Inteligência em Florestas. Texto Técnico. 2009.

VARELLA, Marcelo D.; BARROS-PLAUTIAU, Ana Flavia. Proteção internacional do meio ambiente. 2009. 302 p. Unitar, UniCEUB e UnB. Brasília.

VIDOR, Flávio Luís Reis. Avaliação da vida útil de postes de madeira de eucalipto em serviço em redes de distribuição de energia elétrica. 2011. 130 p. Tese (Doutorado em Engenharia e Tecnologia em Materiais) Faculdade de Engenharia, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

_____. Avaliação de processos de inspeção e retratamento de postes de madeira. 2003. 121 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia em Materiais) Faculdade de Engenharia, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

WALDRON, Levi; COOPER, Paul; UNG, Tony. Modeling of wood preservative leaching in service. 2004. In: Proceedings of Environmental Impacts of Preservative-Treated Wood Conference. Orlando, Florida.

WEIDEMA, B.P.; WESNAES, M.S. Data quality management for life cycle inventories — an example of using data quality indicators. *Journal of Cleaner Production* 4, 167–174. 1996.

WENZEL, H.; HAUSCHILD, M.; ALTING, L. Environmental assessment of products. v. 1. London: Chapman & Hall, 2000.

WERNER, Frank; RICHTER, Klaus. Wooden Building Products in Comparative LCA. A Literature Review. *Journal of Life Cycle Assessment*. 12, p. 470-479. 2007.

WILCKEN, Carlos Frederico (coord.); *et al.* Guia Prático de Manejo de Plantações de Eucalipto. 2008. Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais. Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”.

YOKOTE, Alexandre Yoshikazu. Inventário de ciclo de vida da distribuição de energia elétrica no Brasil. 2003. 344 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Química, Universidade de São Paulo, São Paulo.

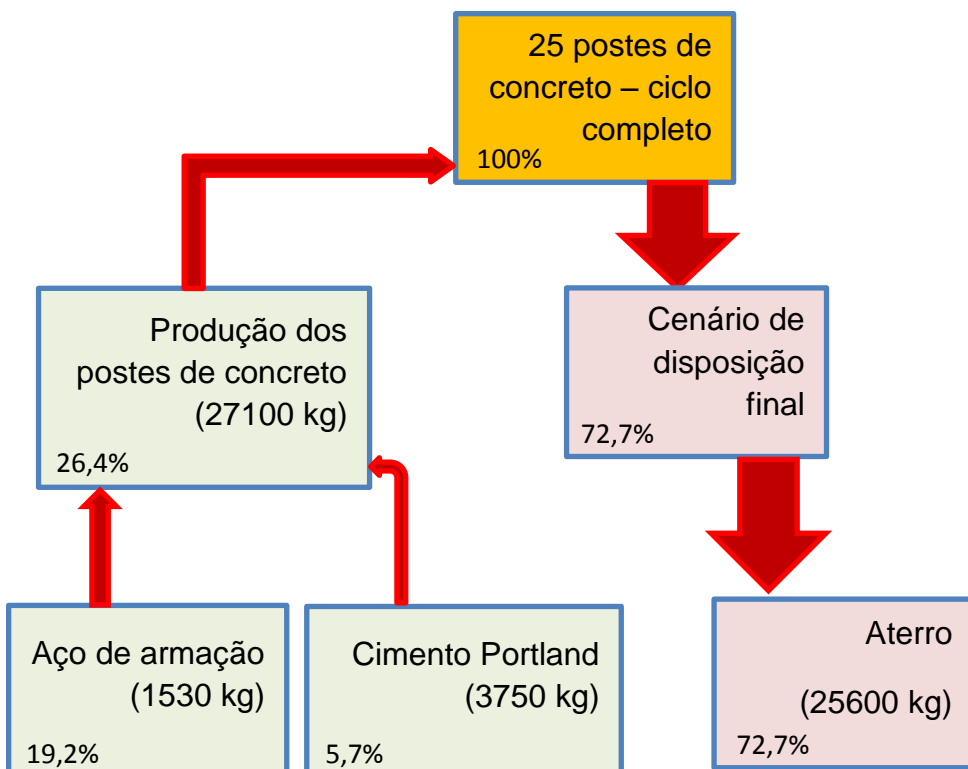
6.6. ANEXO

RELAÇÃO DAS NORMAS ISO/ABNT DE ACV

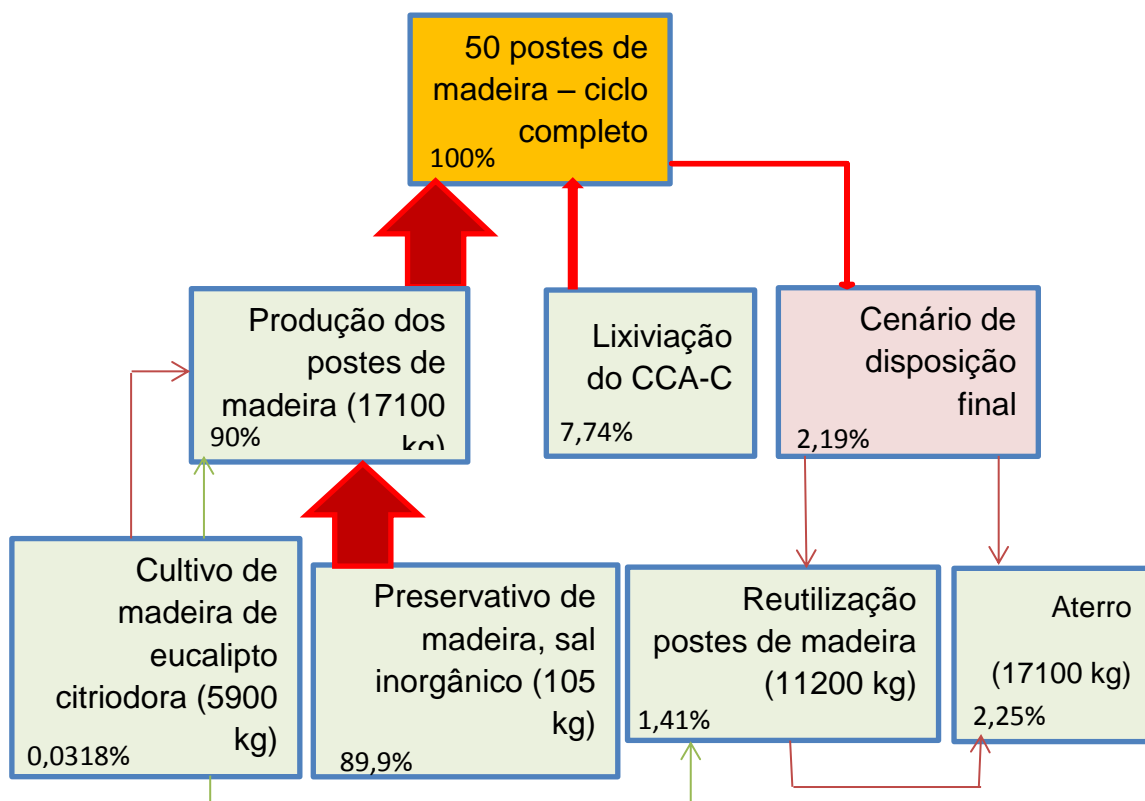
- ISO 14040 - International Standard. Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework. 1997.
ABNT NBR ISO 14.040 - Princípios e estrutura, revisão em 2009.
- ISO 14041 - International Standard. Environmental Management - Life Cycle Assessment Goal and Scope Definition and Inventory Analysis. 1998.
ABNT NBR ISO 14.041 - Definições e análise de inventário, em 2004 (cancelada).
- ISO 14042 - International Standard. Environmental Management - Life Cycle Assessment - Life Cycle Impact Assessment. 2000.
ABNT NBR ISO 14.042 – Avaliação de impactos, em 2004 (cancelada).
- ISO 14043 - International Standard. Environmental Management - Life Cycle Assessment - Life Cycle Interpretation. 2000.
ABNT NBR ISO 14.043 – Interpretação do ciclo de vida, em 2005 (cancelada).
- ISO 14044 - International Standard. Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines. 2006.
ABNT NBR ISO 14.044 – Requisitos e orientações, revisão em 2009.

6.7. APÊNDICE A – Rede de contribuição dos processos

Rede dos postes de concreto



Rede dos postes de madeira



AUTORIZAÇÃO

Autorizo a reprodução e/ou divulgação total ou parcial da presente obra, por qualquer meio convencional ou eletrônico, desde que citada a fonte.

Hugo Henrique de Simone Souza

Universidade Federal da Bahia

Salvador/BA

Escola Politécnica – Rua Aristides Novis, 2 – 4º andar, Federação.

CEP. 40210-630

E-mail: hugohenriquesouza@gmail.com