



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**ELDEN DE ALBUQUERQUE MARIALVA**

**UM MODELO DE AVALIAÇÃO DE FLUXOS DE BIOMASSA E  
CARBONO EM MADEIREIRAS DE COMUNIDADES ISOLADAS DA  
REGIÃO AMAZÔNICA**

**BELÉM**

**2010**

ELDEN DE ALBUQUERQUE MARIALVA

**UM MODELO DE AVALIAÇÃO DE FLUXOS DE BIOMASSA E  
CARBONO EM MADEIREIRAS DE COMUNIDADES ISOLADAS DA  
REGIÃO AMAZÔNICA**

Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará. Área de concentração Térmica fluidos: Orientador: Prof. Dra. Danielle Regina da Silva Guerra; Co-orientador: Augusto César de Mendonça Brasil

BELÉM

2010

---

**Dados Internacionais de catalogação na publicação (CIP), Biblioteca do Mestrado em Engenharia Mecânica/ UFPA, Belém, PA.**

M332m          Marialva, Elden de Albuquerque

Um Modelo de Avaliação de fluxos de Biomassa e Carbono em Madeiras de Comunidades Isoladas da Região Amazônica./ Elden de Albuquerque Marialva; Orientador: Prof. Dr. Danielle Regina da Silva Guerra. – Belém, 2011.

Dissertação (mestrado)-Universidade Federal do Pará. Instituto de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, 2011.

1. Biomassa. 2. Resíduos. 3. Ciclo de vida. I. Guerra, Danielle Regina da Silva, orientador. II. Título.

CDD 19.ed. 669.94

---

## Elden de Albuquerque Marialva

### *Um Modelo de Avaliação do fluxo de Biomassa e Carbono em Madeiras de Comunidades Isoladas da Região Amazônica*

Dissertação apresentada para a  
obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia Mecânica, do  
Instituto de Tecnologia, da  
Universidade Federal do Pará.  
Área de concentração em  
Térmicas e Fluidos.

Data de aprovação: 29 de outubro de 2010.


Banca examinadora:

  
\_\_\_\_\_  
Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Danielle Regina da Silva Guerra, PPGEM/UFPA. –Orientador

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Augusto Cesar de Mendonça Brasil, UNB. –Membro. Externo

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Manoel Fernandes Martins Nogueira Ph.D, PPGEM/UFPA. –Membro Interno

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Msc. Gonçalo Rendeiro, FEM/UFPA. –Membro Convidado

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Msc. Jessé Luis Padilha – FEM/UFPA/ Campus Tucuruí. –Membro Convidado

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a DEUS, ao estar presente em todos os momentos de minha vida, fonte de toda inspiração, coragem, sabedoria, a qual sem ela não estaria dando mais um passo importante de minha vida.

À minha mãe Maria Ondina, eterna guardiã de minha vida, e ao meu pai Edmir Monteiro Marialva (in memoriam), que se foi muito cedo, mas não sem antes, dar-me condições para chegar até aqui.

A minha esposa, pela compreensão durante minha ausência no período de dedicação a esta pesquisa, pelo apoio durante aos momentos difíceis e por seu companheirismo.

A professora Danielle Guerra, pela sua orientação, por ter-me acolhido como seu orientado, ter tido paciência nas horas truçulentas e por ter-me apoiando sempre que necessário para que eu pudesse ter terminado esta dissertação.

Ao professor Augusto Cesar de Mendonça Brasil, pela co-orientação segura que sempre me nortearam, de forma tranquila, os rumos a serem seguidos.

Ao professor Rendeiro, por receber-me no Grupo EBMA, onde pude desenvolver meu trabalho, e pelo seu apoio para o desenvolvimento desta dissertação.

Aos colegas, engenheiros Robson Santos, Hendrick Zarate, Sergio Elarrat e Jessé Padilha pelo apoio técnico e pelas cobranças que me entusiasmaram a prosseguir no sentido de concluí-lo.

Durante todo o desenvolvimento dessa pesquisa recebi valiosas ajudas que contribuíram para que ele alcançasse sua forma final. A todos que me auxiliaram de alguma forma, meus sinceros agradecimentos.

Na ciência, você não precisa ser educado, você tem apenas que estar certo.

Winston Churchill

## RESUMO

A Amazônia tem imensos recursos florestais, abrigando um terço das florestas tropicais do mundo. A Amazônia brasileira compreende uma área maior que 5 milhões de km<sup>2</sup>, o que corresponde a 61% do território brasileiro. A região norte produz 72,45% da madeira em tora do Brasil, o estado do Pará contribui com 55,47%, de acordo com IBMA (2007). A exploração madeireira na Amazônia é caracterizada como “garimpagem florestal”, ou seja, os exploradores entram na floresta selecionam as toras de valor comercial e a retiram. Passando-se certo tempo, eles voltam novamente a essa área e a exploram, esse processo de exploração está acontecendo em um intervalo de tempo cada vez menor. A Amazônia legal abrigava 833 serrarias circulares em 1998. Essas serrarias estavam localizadas principalmente no estuário amazônico (71%) – nos furos e tributários dos rios Amazonas, Xingu, Tocantins e Pará. Essas processadoras familiares consumiram conjuntamente 1,3 milhões de metros cúbicos de madeira em tora (5% da produção da Amazônia). Neste trabalho estimou-se o balanço de carbono em serrarias do estuário do rio Amazonas e foi desenvolvido o ciclo de vida do carbono para uma serraria no estuarino amazônico. Foi identificado que no processo produtivo da comunidade há um caminho bem definido do recurso natural (biomassa/madeira): exploração florestal, transporte de biomassa, transformação (empresas madeireiras)/processos produtivos, geração e utilização de resíduos, transporte de madeira processada, comercialização/mercado. O objetivo deste trabalho foi avaliar os recursos energéticos através do fluxo (inputs e outputs) da madeira e da energia no processo. Para isso, desenvolveu um modelo que simulou os fluxos de carbono, da madeira e a área afetada pela exploração. Neste trabalho criou-se um modelo específico onde se avaliou fluxo de carbono para o cenário estudado; a avaliação do impacto ambiental foi alcançada, onde obteve um valor positivo, uma captura de carbono cerca de 55 tCO<sub>2</sub>/mês, mesmo com a baixa eficiência do sistema produtivo, em torno de 36% conclui-se que o sistema atual de exploração não polui mas poderia ser melhorado a fim de alcançar uma maior eficiência do processo produtivo. Enquanto ao resíduo gerado aproximadamente 64% do volume de madeira que entra na serraria conseguiu gerar aproximadamente 1240 kW de energia elétrica mensal.

**Palavras Chaves:** Biomassa. Ciclo de vida. Sequestro de carbono. Resíduos.

## ABSTRACT

The Amazon Region has a huge amount of biomass resources. The Brazilian Amazon comprises an area larger than 5 million km<sup>2</sup>, which represents 61% of the Brazilian territory. The Brazilian northern region produces 72.45% of the produced round wood in Brazil; the State of Pará shares 55.47% of that production. Generally, in Amazon region the lumbers get into the forest to select the logs to being cut. Some years later they return again to the same area to harvest again, and the interval time reduces each year. The Amazon region contained 833 sawmills in 1998. These sawmills were located mainly in the Amazon estuary (71%). These wood producers share 1.3 million cubic meters of wood logs (5% of production Amazon). The present work estimated the carbon balance of sawmills in the Amazon River estuary. A life cycle analysis was developed to estimate the carbon balance of the studied sawmills. The study was focused on the wood products considering the process used in small Amazonian communities. There is a well-defined path of the natural resource (biomass / wood) such as: forestry, transportation of biomass, transformation (business/timber) / processes, generation and use of wastes, transport of processed timber, marketing. The energy balance was also analyzed through the flow (inputs and outputs) of wood and carbon during the cycle. A numerical model was developed to simulate the flow of carbon, energy, wood and area affected by exploitation. This work developed a specific model for the evaluation of the carbon flow, the environmental impact assessment was reached, where it shown a positive value, a carbon capture about 55 tCO<sub>2</sub>/month, even with a low production efficiency system, around 36%. The results show that the current operating system does not pollute but could be improved to achieve higher efficiency in the production process. The waste generated was approximately 64% of the volume of wood entering the mill, its application could be managed to generate approximately 1240 kilowatts of electricity monthly.

**Keywords:** Biomass. Life cycle. Carbon sequestration. Waste.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Estágio do ciclo de vida de um produto ou serviço .....	32
Figura 2 - Fases da ACV .....	33
Figura 3 - Procedimento simplificado para a análise do inventário .....	35
Figura 4- Polos e zonas madeireiras do Pará.....	45
Figura 5 - Projeto Marajó .....	46
Figura 6 - Localização do Projeto Marajó: S 01° 47,658' W 50° 19,343' .....	47
Figura 7- Área de Exploração florestal.....	48
Figura 8 - Matéria prima a ser processada.....	48
Figura 9 - Transporte das torras.....	51
Figura 10 - Recebimento das toras .....	51
Figura 11 - Desdobro de torra de madeira.....	52
Figura 12 - Fabricação de peças para confecção de cabos de vassouras.....	53
Figura 13 – Vista das torras que entram na serraria .....	54
Figura 14 - Trena de fibra de vidro.....	54
Figura 16 - Geração de resíduo em pó - resíduo.....	55
Figura 17 - Balança como capacidade de 130 kg .....	55
Figura 18 - Biomassa que sai da serraria - madeira de primeira e terceira.....	56
Figura 19 - Deposição da madeira processada .....	56
Figura 20 - Esquema de uma tora.....	58
Figura 21 - Esboço de uma tábua .....	59
Figura 22 - Esboço de uma peça para fabricação de cabo de vassoura.....	59
Figura 23 - Pesagem do pó .....	60
Figura 24 - Desenho no autocad .....	63
Figura 25 - Diagrama do Ciclo de vida para o carbono.....	69
Figura 26 - Tela de entradas dos dados necessários .....	70
Figura 27 - Tela de resultados .....	71
Figura 28 – Dados de entrada para Simulação para o cenário do estudo de caso .....	73
Figura 29 – Resultados para simulação para o cenário do estudo de caso .....	73
Figura 30 - Vista da Comunidade de Santo Antônio.....	74
Figura 31 - Método de Newton.....	75
Figura 32 - Método de Smalian .....	75
Figura 33 – Esquema de variação do diâmetro e parte central comprometida das toras.....	76

Figura 34 - Rendimento teórico.....	77
Figura 35- Processo de Produção .....	80

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Influência de cada gás no efeito estufa.....	26
Tabela 2 - Resumo do balanço global de carbono.....	28
Tabela 3 - Software para realização de ACV .....	36
Tabela 4- Normas utilizadas para análise em laboratório.....	61
Tabela 5 - Resultado Analises laboratório.....	61
Tabela 6 - Análise elementar .....	62
Tabela 7 - Análise elementar dos combustíveis .....	66
Tabela 8 - Teor máximo de CO <sub>2</sub> obtidos das reações estequiométricas .....	67
Tabela 9 - Resumo dos resultados .....	72
Tabela 10 – Emissão de CO <sub>2</sub> (kg).....	77

## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIACÃO

ACV	Análise do ciclo de vida
NBR	Denominação de norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas
ICV	Inventário do ciclo de vida
IPCC	Painel Intergovernamental para mudanças Climáticas
ppm	Parte por milhão
PCS	Poder calorífico superior
ABNT	Associação brasileira de normas técnicas
V	Volume
A	Área
L	Comprimento
EBMA	Grupo de Energia, biomassa e meio ambiente.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
1.1 JUSTIFICATIVA .....	17
1.2 OBJETIVOS .....	18
<b>1.2.1 Objetivos Gerais .....</b>	<b>18</b>
<b>1.2.2 Objetivos Específicos.....</b>	<b>19</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>20</b>
2.1 EXPLORAÇÃO FLORESTAL .....	20
<b>2.1.1 Tempo de abate de árvores na floresta amazônica.....</b>	<b>22</b>
2.2 RESÍDUOS .....	22
2.3 UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO COMO FONTE PARA GERAR ENERGIA ELÉTRICA .....	24
2.4 EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA .....	24
<b>2.4.1 Gases do Efeito estufa.....</b>	<b>26</b>
2.5 BALANÇO DE CARBONO.....	28
<b>2.5.1 Ciclo de carbono Florestal.....</b>	<b>29</b>
<b>3 CICLO DE VIDA .....</b>	<b>31</b>
3.1 DEFINIÇÃO DA META E EXTENSÃO DOS ESTUDOS (OBJETIVO E O ESCOPO) .....	33
3.2 INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA (ICV) .....	34
3.3 ANÁLISE DO IMPACTO DO CICLO DE VIDA (AICV) .....	36
<b>3.3.1 Elementos obrigatórios .....</b>	<b>37</b>
<b>3.3.2 Elementos opcionais .....</b>	<b>37</b>
3.4 A INTERPRETAÇÃO DO ESTUDO.....	38
<b>3.4.2 Identificação dos temas de relevância.....</b>	<b>39</b>
<b>4 AVALIAÇÕES .....</b>	<b>40</b>
<b>5 CONCLUSÕES, RECOMENDAÇÕES E RELATÓRIO.....</b>	<b>41</b>
5.1 TIPOS DE IMPACTO E METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DE IMPACTOS .....	42
5.2 LIMITAÇÕES NA ELABORAÇÃO DO ESTUDO DE ACV .....	43
<b>6 METODOLOGIA.....</b>	<b>44</b>
6.1 DEFINIÇÃO DO OBJETIVO E ESCOPO .....	44

<b>6.1.1 Caracterização da empresa típica.....</b>	<b>44</b>
<b>6.1.2 Local de estudo .....</b>	<b>45</b>
6.2 ANÁLISE DO INVENTÁRIO .....	49
<b>6.2.1 Caracterização da empresa típica.....</b>	<b>49</b>
6.2.1.1 Coletas das torras.....	49
6.2.1.2 Transporte das Toras .....	50
6.2.1.3 Recebimento das torras.....	51
6.2.1.4 Desdobro .....	52
6.2.1.5 Resíduo .....	53
6.2.1.6 Deposição .....	56
6.2.1.7 Armazenamento .....	57
6.2.1.8 Expedição .....	57
<b>6.2.2 Cálculo do resíduo.....</b>	<b>57</b>
6.2.2.1 Medição real da biomassa.....	57
6.2.2.2 Medição teórica da biomassa.....	62
<b>6.2.3 Métodos utilizados no tratamento dos dados.....</b>	<b>63</b>
6.2.3.1 Método de <i>Smalian</i> .....	64
6.2.3.2 Método de Newton .....	64
6.3 AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS .....	64
<b>6.3.1 Cálculo das emissões.....</b>	<b>65</b>
6.3.1.1 Cálculo da emissão de dióxido de carbono em motor a diesel.....	66
6.4 INTERPRETAÇÃO .....	67
<b>7 RESULTADOS .....</b>	<b>72</b>
7.1 DEFINIÇÃO DO OBJETIVO E ESCOPO .....	72
<b>7.1.1 Desenvolvimento de modelo de exploração florestal virtual (MADE0D).....</b>	<b>72</b>
<b>7.1.2 Levantamento de dados (gases do efeito estufa).....</b>	<b>73</b>
7.2 ANÁLISE DO INVENTÁRIO .....	74
<b>7.2.1 Definição do local de estudo.....</b>	<b>74</b>
<b>7.2.2 Preparação e coleta dos dados.....</b>	<b>74</b>
<b>7.2.3 Quantificação dos resíduos.....</b>	<b>74</b>
<b>7.2.4 Cálculo da eficiência.....</b>	<b>75</b>
7.2.4.1 Correlações empíricas dos índices de aproveitamento de matéria (geração de resíduos) do sistema produtivo .....	76

<b>7.2.5 Cálculo das emissões.....</b>	<b>77</b>
<b>7.3 AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS .....</b>	<b>78</b>
<b>7.3.1 Gases do efeito estufa .....</b>	<b>78</b>
<b>7.3.2 Geração de resíduo.....</b>	<b>78</b>
<b>7.3.3 Balanço de carbono .....</b>	<b>78</b>
<b>7.4 INTERPRETAÇÃO .....</b>	<b>79</b>
<b>7.4.1 Extração de recursos naturais.....</b>	<b>79</b>
<b>7.4.2 Processamento de matérias-primas .....</b>	<b>79</b>
<b>7.4.3 Produção, transporte e distribuição dos produtos .....</b>	<b>79</b>
<b>7.4.4 Uso, reutilização, manutenção.....</b>	<b>80</b>
<b>7.4.5 Reciclagem e destino final.....</b>	<b>80</b>
<b>8 CONCLUSÕES.....</b>	<b>81</b>
<b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>84</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>85</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>90</b>
ANEXO 1 – ISO 14040:2006.....	90
ANEXO 2- PLANILHA DE DADOS UTILIZADOS .....	91
ANEXO 3- CÁLCULO DOS RAIOS PARA CADA TORA .....	92
ANEXO 4 – MEDIDAS DAS TÁBUAS .....	93
ANEXO 5- RESULTADOS PARA OS MÉTODOS DE NEWTON E SMALIAN .....	94
ANEXO 6 – DESENHO EM FORMATO DWG. (NO CD) .....	95
ANEXO 7 – VOLUME TEÓRICO DAS TORAS E DA MADEIRA E A EFICIÊNCIA TEÓRICA DO DESDOBRO .....	96

## 1 INTRODUÇÃO

A Amazônia tem imensos recursos florestais abrigando um terço das florestas tropicais do mundo. A Amazônia brasileira compreende uma área maior que 5 milhões de km<sup>2</sup>, o que corresponde a 61% do território brasileiro, é uma das maiores reservas de madeiras tropicais na atualidade e desempenha uma elevada importância como fornecedora de madeira para o mercado nacional e internacional.

Segundo o IBGE (2009) de 19 de novembro de 2009, entre os maiores produtores de madeira do segmento extrativista está o Estado do Pará que contribui com uma produção de 7.618.912 m<sup>3</sup>, essa produção corresponde a 53,9% da coleta nacional. De acordo com a Associação das Indústrias Exportadoras de Madeiras do Estado do Pará (AIMEX), a indústria madeireira em 2004 teve um consumo anual de 11,15 milhões de metros cúbicos de toras, representando 543.442 US\$ milhões em exportações e uma renda bruta anual de 1.113,60 US\$ milhões.

Nesse contexto verifica-se o fluxo do grande volume de madeira não beneficiada, ou seja, madeira em tora, que é comercializada, conseqüentemente ao ser beneficiada gera uma quantidade significativa de resíduo.

Em todo o processo de manufatura da madeira há geração de resíduo. Os resíduos de madeira são originados desde o corte de árvores nas florestas até a manufatura de produtos derivados, com aproveitamento global variando de 25 a 42%, em metros cúbicos.

Na Amazônia, a exploração não se dá apenas por grandes empresas, uma quantidade significativa de pequenas serrarias atua nesse seguimento. Este trabalho quantifica os resíduos gerados em um processo de exploração florestal no Estado do Pará, abordando um estudo de caso voltado para um modelo de exploração tipicamente em uma comunidade isolada na região do Marajó. Fazendo um comparativo entre quantidade teórica e quantidade medida “*in loco*”.

Outros pontos relevantes além da geração de resíduos são: o balanço de carbono gerado durante o processo de exploração florestal e o carbono fixado na madeira. Há diversos estudos que abordam esse tema, mas não com o enfoque a exploração praticada nas comunidades isoladas da Ilha do Marajó.



O balanço de carbono durante o processo de exploração florestal, devido ao uso de maquinários, a retirada à madeira do local de exploração e as emissões de gases de efeito estufa durante o processo de exploração contribuem na estimativa geral do fluxo de carbono lançado na atmosfera. Da mesma forma, o balanço de carbono durante o processo produtivo contribui para estimativa do fluxo geral de carbono, o carbono fixado na madeira após seu benéfico é de relevante importância para o ciclo de carbono, além de que o carbono fixado na madeira fica armazenado na mesma assumindo assim um papel como sumidouro do CO<sub>2</sub> da atmosfera.

As florestas desempenham um papel ambíguo no balanço de carbono trocado entre biosfera e atmosfera. Durante o processo de uso alternativo do solo, é fonte de gases de efeito estufa. Em outros momentos é sumidouro (sequestradora de carbono excedente da atmosfera) quando está sob manejo florestal ou mesmo em condições naturais. Analisar o quanto de CO<sub>2</sub> está sendo emitido pela ação antrópica na floresta devido à exploração florestal pela maioria das comunidades isoladas que vivem da mesma é uma questão a ser respondida por este trabalho de dissertação.

Historicamente a exploração de madeira na Amazônia é de forma desordenada. Na zona estuarina a exploração florestal pode ser comparada como uma garimpagem (Veríssimo et al.,1998), ou seja, o explorador entra na zona alagada na época de seca na região, seleciona e marca as árvores de valor comercial em especial a virola (, sem a preocupação com o manejo florestal; com a chegada da época do inverno na região eles voltam na área previamente selecionada, retiram as toras e a levam em forma de jangada até uma pequena serraria, onde será realizado o desdobro das mesmas.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

A região das ilhas no entorno do município de Breves no estado do Pará, região Norte da Amazônia, concentra uma quantidade significativa de comunidades isoladas, as quais o meio de subsistência é a floresta. A principal fonte de renda de algumas comunidades é a extração de madeira da floresta da própria ilha ou das ilhas próximas. Atualmente não há dados confiáveis que possam responder com precisão a quantidade de resíduo gerado por essa atividade, nem a quantidade de CO<sub>2</sub> emitida por tal atividade.

Durante o processo de extração das toras da floresta até a comercialização da madeira beneficiada, há a geração de resíduos. Os resíduos provenientes do processo de produção das peças de madeira podem servir como fonte de energia para tais comunidades. A fonte de energia utilizada em tais comunidades é proveniente de um combustível fóssil, o Diesel, e o destino do resíduo proveniente do processo de produção é a queima direta em céu aberto ou mesmo como aterro. Portanto, a utilização de resíduos da produção madeireira traz vantagens do ponto de vista ambiental e socioeconômico (com geração de emprego e renda).

O processo produtivo utilizado por algumas comunidades do Arquipélago do Marajó tem um caminho bem definido do recurso natural (biomassa/madeira), que pode ser descrito pelo ciclo de vida nas seguintes etapas: exploração florestal, transporte de biomassa, processos produtivos, geração e utilização de resíduos, transporte de madeira processada e mercado

Para avaliar as vantagens ambientais há a necessidade de quantificar o fluxo de energia e carbono da utilização do recurso florestal. Para isso, é fundamental a criação e aplicação de um modelo específico, que inclua uma análise de ciclo de vida, que leve em conta variáveis representativas do cenário produtivo local.

Partindo desses pressupostos é relevante um estudo tentando levantar o máximo de informações da região das ilhas do arquipélago do Marajó contemplando a forma de exploração local, o processo produtivo, o transporte, as vantagens e desvantagem da ótica ambiental. Portanto esta dissertação se propõe a desenvolver tal estudo.

A seguir são discriminados os objetivos deste estudo, inicialmente são abordados os objetivos de maneira geral e em sequência são abordados os objetivos específicos.

## 1.2 OBJETIVOS

Neste item são abordados os objetivos gerais e específicos deste trabalho.

### 1.2.1 Objetivos Gerais

Baseado na introdução e justificativa anteriormente mencionadas, o objetivo do trabalho é desenvolver um procedimento numérico e experimental que indique

quantitativamente a geração de resíduos da atividade madeireira no cenário estuarino da foz amazônica. O estudo leva em conta os valores econômicos da madeira, consumos energéticos e fatores ambientais, tais como utilização de resíduos e balanço de carbono.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

Os objetivos específicos são listados a seguir:

- Desenvolvimento de um modelo de exploração florestal virtual, neste estudo será chamado de modelo MADE0D, que determina (por espécies e por km<sup>2</sup>) o fluxo de carbono e emissões de gases de efeito estufa.
- Desenvolvimento de um modelo de madeira virtual, que determina consumos energéticos, emissões de gases de efeito estufa, balanço de carbono, fluxo de matéria prima (madeira) que entra na madeira, o fluxo de saída de matéria processada e quantidade de resíduos gerados (com os índices de aproveitamento dos processos).
- Análise de Ciclo de Vida da exploração e transformação da madeira levando em conta os consumos energéticos e emissões de gases de efeito estufa.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta revisão bibliográfica está dividida em quatro subitens. Esses subitens foram descritos a partir de estudo de pesquisa de vários pesquisadores, comentários referentes a estudo de cada pesquisador são abordados em cada item nesta revisão bibliográfica visando a formação de uma lógica de pensamento que possibilite um melhor entendimento do estudo realizado e que permita comparar os resultados encontrados no referidos trabalhos de pesquisa com os valores ou metodologias abordadas nesta revisão bibliográfica.

No item 2.1, é abordado estudos referentes à exploração florestal, caracterizando a forma de exploração, também sobre o tempo de abate de árvores na floresta comentando o manejo florestal mais comum encontrado na região do estudo.

Já no item 2.2 é comentado sobre as emissões dos gases do efeito estufa, de acordo com o relatório do IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), contemplando os principais gases e suas influências para o efeito estufa.

Enquanto no item 2.3, a origem da geração de resíduo proveniente da exploração florestal, do desdobro das toras, o índice de aproveitamento global são comentados nesse item.

Finalizando a revisão com o balanço global de carbono, comentado no item 2.4, neste é observado a importância da biota terrestre como o principal sumidouro do excesso de carbono na atmosfera, dessa fez-se necessário abordar o ciclo de carbono florestal, pois a floresta é que é o grande sumidouro de CO<sub>2</sub> da atmosfera.

### 2.1 EXPLORAÇÃO FLORESTAL

A forma atual de exploração contribui para o desmatamento, provocando danos ao ecossistema florestal, o tornando propenso a queimadas e a ocupação desordenada. Se a atividade for conduzida de maneira correta será possível conciliar desenvolvimento e conservação.

No estudo de Veríssimo et al. (1998), as práticas de exploração utilizado pelas madeireiras na Amazônia são caracterizadas como “garimpagem florestal”, no estado do Pará, principalmente nas áreas estuarinas. Nessa forma de exploração os madeireiros inicialmente

entram na floresta para retirar apenas as espécies de alto valor. Em seguida, em intervalos mais curtos, os madeireiros retornam à mesma área para retirar o restante das árvores de valor econômico, sem uma preocupação com manejo florestal. O resultado é uma floresta com grandes clareiras e dúzias de árvores danificadas. Aumentando assim as espécies sem valor comercial e dificultando a regeneração de espécies comercialmente valorizadas. A dinâmica da exploração não manejada favorece a ocupação desordenada da região. Nas áreas de fronteira, os madeireiros constroem e mantêm estradas de acesso às florestas, o que geralmente conduz à colonização por pequenos agricultores e, em alguns casos, invasão de unidades de conservação. As causas para a exploração predatória são várias, dentre elas a falta de uma política florestal coerente para a região que incentive o manejo e a realização de um zoneamento florestal.

Vidal (1997) relata em seu estudo que um passo inicial para a conservação da floresta na Amazônia Oriental é melhorar a eficiência da produção florestal. Atualmente, a extração não planejada e o processamento ineficiente das toras conduzem à degradação da floresta e a significantes desperdícios de madeira. Se esses desperdícios fossem reduzidos, uma área menor de floresta seria requerida para satisfazer as demandas de madeira.

O manejo de florestas nativas e o manejo florestal sustentável são raros na Amazônia. O modelo de exploração florestal convencional adotado na Amazônia é baseado no sistema de concessão no qual as operações de exploração madeireira são realizadas com pouca consideração pela produção madeireira em longo prazo. (Higuchi, 1994; Barros & Uhl, 1995)

Ao longo do rio Amazonas e afluentes, diversas famílias ocupam grandes áreas nas suas margens, formando diversas pequenas comunidades, essas áreas são periodicamente inundadas. Os residentes dessas áreas dependem dos recursos naturais locais para sua subsistência e renda. Embora esses pequenos proprietários mantenham campos abertos e florestas secundárias, sua contribuição para o desmatamento é pequena comparada á dos fazendeiros, extratores madeireiros de grande escala e projetos de desenvolvimento industrial, que desmatam e degradam a paisagem em grande escala. (Hecht & Cockburn, 1989; Nepstad et al., 1992).

Como a madeira nessas áreas é a principal fonte de renda foi necessário comentar sobre o tempo de abate das árvores da floresta, esse assunto é discutido nos parágrafos seguintes.

### 2.1.1 Tempo de abate de árvores na floresta amazônica

Comentar sobre o tempo de abate de árvores na floresta amazônica está diretamente relacionado à forma de exploração adotada pelos exploradores, como já discutido anteriormente, na maioria dos casos esses exploradores não adotam técnicas adequadas. A falta de conhecimento facilita uma exploração desordenada, propiciando assim o surgimento de áreas desmatadas.

Dessa forma, imagina-se que a adoção de técnicas apropriadas de manejo florestal deva garantir a manutenção da exploração dos recursos da floresta nas áreas (nesse caso: a madeira) e proporcionar maior vida útil à terra utilizada, além dos benefícios econômicos que devem superar os custos financeiros da operação.

Tais benefícios decorrem do aumento da produtividade do trabalho, da redução dos desperdícios e da adoção de técnicas apropriadas no processo produtivo (em especial o da madeira).

Há poucas pesquisas de campo sobre desenvolvimento da floresta após a exploração madeireira para orientar tecnicamente os debates sobre manejo florestal (Higuchi *et al.*, 1997; Vidal *et al.*, 1998; Vidal *et al.*, 2002). Tais informações são importantes porque os métodos de exploração convencionais utilizados na Amazônia afetam drasticamente a produção futura de madeira, reduzindo as taxas de crescimento da floresta remanescente (Silva, 1998). Segundo Hutchinson (1986) e Panayotou & Ashton (1992), o emprego de métodos de manejo florestal não planejados contribuem para que os ciclos de corte sejam mais longos.

Tanto no processo de exploração na floresta quanto no desdobro de madeira não há geração de resíduo. A quantificação de resíduo oriundo do processo de desdobro da madeira já foi levantada em diversos estudos realizados em empresa com maior grau de tecnologia. No próximo item são discriminados alguns estudos sobre resíduo gerado na exploração florestal e a eficiência de aproveitamento.

## 2.2 RESÍDUOS

De norte a sul do Brasil há áreas de concentração de empresas que manufaturam madeira, como serrarias, indústrias moveleiras, laminadoras, indústrias produtoras de piso,

entre outras. Estas são geradoras de resíduos como: lascas, serragem, cavacos, costaneiras, etc.

Em seu estudo Cunha (2003) deixa claro que os resíduos de madeira são originados desde o corte de árvores nas florestas até a manufatura de produtos derivados, com aproveitamento global da ordem de 30 a 40%, em metros cúbicos. Mas o processo de manufatura pode gerar até 70% de resíduos de madeira. Enquanto no trabalho de Biasi (2007), Citado por Fontes (1994), demonstra que o índice de aproveitamento das toras de madeiras no processamento industrial sofre variações em função do tipo e tamanho da indústria, equipamentos e espécies utilizadas. Esse índice pode variar de 25 a 70 % do volume da tora. Para fazer o balanço de carbono, um dos objetivos deste trabalho, é calcular os resíduos gerados pela madeireira desde a saída da floresta até o produto final, os distinguindo e quantificando por massa em cada processo.

Há diversas publicações referentes à produção de resíduos a partir da manufatura da madeira, bem como já citadas por Biasi (2007) e Cunha (2003). Outros trabalhos referentes a resíduos é o de Numazawa (2006) e Murara (2005).

O estudo de Numazawa (2006) objetivou caracterizar os resíduos de indústrias madeireiras, as consequências que os mesmos podem causar ao meio ambiente e quais as alternativas de uso. O mesmo realizou trabalho de campo para quantificar o volume de resíduos em uma serraria localizada no município de Moju – Pa. Enquanto o trabalho de Murara (2006) teve o objetivo de avaliar a classificação de toras e uso de diagramas de corte visando o aumento no rendimento de madeira serrada de pinus e sua influência no custo de produção em uma serraria localizada na cidade São Bento do Sul, Estado de Santa Catarina.

Em todo o processo de exploração e beneficiamento da madeira há produção de uma grande quantidade de resíduo produzido, emissões de gases do efeito estufa. No entanto qual a energia elétrica que pode ser gerada com o resíduo oriundo desse processo de exploração e beneficiamento? Quais são os gases do efeito estufa? Qual sua contribuição para o aquecimento global do planeta? A seguir são discutidos esses questionamentos levantados, levando o leitor um entendimento sobre o assunto.

### 2.3 UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO COMO FONTE PARA GERAR ENERGIA ELÉTRICA

Canes (2005) apresenta em seu trabalho uma abordagem da geração de energia elétrica utilizando Biomassa (casca do arroz e resíduos da madeira). Através do qual foi possível observar uma maior abrangência de conhecimentos no que diz respeito à gestão ambiental. Na metodologia utilizada por Canes (2005) faz-se uso de entrevistas diretas com pessoas encarregadas nas usinas de geração de energia, nas empresas Urbanas Agroindustrial Ltda, localizada em São Gabriel, e Forjasul Madeiras S.A. localizada em Encruzilhada do Sul. Foi possível constatar que ambas são autossustentáveis e teriam possibilidade de gerar energia além de seu próprio consumo, porém nenhuma das concessionárias de energia da região de seu estudo manifestou interesse no aproveitamento energético das mesmas, assim as empresas produzem somente a energia que irão usufruir. Canes (2005) faz uma revisão no que se refere à geração de energia elétrica utilizando biomassa como combustível. Também o autor tenta conciliar uma visão ambiental e econômica pra tal forma de geração.

Marialva et al (2008) em seu trabalho faz uma avaliação do comportamento e da eficiência de uma usina de geração de energia elétrica com ciclo a vapor que utiliza biomassa como combustível, diversos tipos de biomassas foram utilizadas, entre eles o resíduo de madeiras do estado do Pará, mixe de biomassas também foram analisadas, assim com a energia gerada por tais biomassas.

### 2.4 EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA

Falar dos gases do efeito estufa está ligado diretamente com o já consagrado internacional IPCC, referência mundial em aquecimento global, este foi estabelecido em 1988 pela OMM (Organização Meteorológica Mundial) e pelo UNEP (Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente) para avaliar informações científicas, técnicas, socioeconômicas e os impactos relevantes aos riscos à humanidade, visando criar mecanismos para a adaptação e mitigação dos efeitos das mudanças climáticas globais. O último relatório publicado pelo IPCC que aborda a avaliação sobre mudanças climáticas foi no ano de 2007, o próximo será publicado no ano de 2013.



O IPCC divulgou no ano de 2007 os resultados do seu Quarto Relatório de Avaliação das Mudanças Climáticas do planeta, chamado de IPCC-AR4 (Alley et al., 2007). Os resultados alertam para um aumento médio global das temperaturas entre 1,8°C e 4,0°C até 2100. Esse aumento pode ser ainda maior (6,4°C) se a população e a economia continuarem crescendo rapidamente e se for mantido o consumo intenso dos combustíveis fósseis. Entretanto, a estimativa mais confiável é um aumento médio de 3°C, assumindo que os níveis de dióxido de carbono se estabilizem em 45% acima da taxa atual.

Aponta também, com mais de 90% de confiabilidade, que a maior parte do aumento de temperatura observado nos últimos 50 anos foi provocada por atividades humanas. Mudanças na quantidade de gases de efeito estufa e aerossóis, na radiação solar e nas características da superfície da Terra alteram o balanço de energia do sistema climático.

As mudanças na qualidade dos gases e da terra são expressas em termos de forçantes radiativas, as quais são usadas para comparar como a contribuição humana e os fatores naturais influenciam no aquecimento ou no resfriamento do sistema climático. Emissão radiativa é a medida de influência que um fator tem de alterar o balanço de energia que entra ou sai no sistema terra-atmosfera e é um índice de importância do fator como um potencial mecanismo de mudança climática. Desde o Terceiro Relatório, novas observações e modelos relacionados aos gases de efeito estufa, atividade solar, propriedades da superfície da Terra e alguns aspectos de aerossóis têm levado a melhores estimativas das emissões radiativas.

A concentração atmosférica de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) tem aumentado significativamente como resultado das atividades humanas desde 1750. Esse aumento se deve principalmente à queima de combustível fóssil e mudanças de uso da terra, enquanto o metano e o óxido nitroso são principalmente devido à agricultura.

As emissões radiativas combinadas, devido ao aumento do dióxido de carbono, metano e óxido nitroso e sua taxa de aumento durante a era pré-industrial, muito provavelmente não têm precedentes em mais de 10.000 anos. A emissão radiativa do dióxido de carbono aumentou 20% entre 1995 e 2005, a maior mudança ocorrida no mínimo nos últimos 200 anos.

Para maior esclarecimento a seguir é comentado sobre o efeito estufa e os principais gases que o provoca.

### 2.4.1 Gases do Efeito estufa

O efeito estufa é um processo que ocorre quando uma parte da radiação solar refletida pela superfície terrestre é absorvida por determinados gases presentes na atmosfera, Wikipédia (2009). Como consequência disso, o calor fica retido, não sendo libertado para o espaço. O efeito estufa dentro de uma determinada faixa é de vital importância, pois sem ele, a vida como a que conhecemos não poderia existir. Serve para manter o planeta aquecido, e assim, garantir a manutenção da vida.

O que se pode tornar catastrófico é a ocorrência de um agravamento do efeito estufa que desestabilize o equilíbrio energético no planeta e origine um fenômeno conhecido como aquecimento global. O IPCC (2007), estabelecido pela Organização das Nações Unidas e pela Organização Meteorológica Mundial em 1988, no seu relatório diz que a maior parte deste aquecimento, observado durante os últimos 50 anos, se deve muito provavelmente a um aumento dos gases do efeito estufa.

Os principais Gases de Efeito Estufa – GEE, segundo KENBEL (2003), listados no Anexo A do Protocolo de Quioto são: Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ); Metano ( $\text{CH}_4$ ); Óxidos de Nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ); Clorofluorcarbonos (CFCS); Hidrofluorcarbonos (HFCS); Perfluorcarbonos (PFCS); Hexafluoreto de enxofre ( $\text{SF}_6$ ); Ozônio Troposférico ( $\text{O}_3$ ); Vapor D'água ( $\text{H}_2\text{O}$ )g.

A Tabela 1 retrata a contribuição de alguns gases de estufa, eles absorvem alguma radiação infravermelha emitida pela superfície da Terra e radiam por sua vez alguma da energia absorvida de volta para a superfície. Como resultado, a superfície recebe quase o dobro de energia da atmosfera do que a que recebe do Sol e a superfície fica cerca de 30 °C mais quente do que estaria sem a presença dos gases de estufa.

**Tabela 1 - Influência de cada gás no efeito estufa**

Gás	%
$\text{CO}_2$	55
CFC	24
$\text{CH}_4$	15
$\text{N}_2\text{O}$	6

Fonte: Arquivo Pessoal

O dióxido de carbono é o mais importante gás de efeito estufa provocado pelas atividades humanas, de acordo com o IPCC (2007). Sua concentração na atmosfera vem

umentando nos últimos 650.000 anos, de 180 ppm para 300 ppm, . Entretanto houve um aumento mais pronunciado desde a era pré-industrial, passando de 280 ppm para 379 ppm em 2005, sendo que na última década, entre 1995 e 2005, houve a maior taxa de aumento.

A concentração do metano, segundo o IPCC (2007), na atmosfera se deve às atividades antrópicas, principalmente à agricultura e ao uso de combustíveis fósseis. Sua concentração passou de 715 ppb na era pré-industrial para 1.732 ppb no início da década de 90 e 1.774 ppb em 2005. Sua taxa de crescimento declinou na última década, mantendo-se praticamente constante até 2005.

Enquanto o óxido nitroso, que também teve aumento em sua concentração na atmosfera, principalmente devido à agricultura, passou de 270 ppb na era pré-industrial para 310 em 2005, mantendo-se praticamente constante desde 1980.

O efeito estufa embora seja prejudicial em excesso, é na verdade vital para a vida na Terra, pois é ele que mantém as condições ideais para a manutenção da vida, com temperaturas mais amenas e adequadas. Porém, o excesso dos gases responsáveis pelo Efeito Estufa, ao qual desencadeia o aquecimento global, que é o grande vilão.

A absorção da radiação terrestre acontece próximo à superfície, isto é, nas partes inferiores da atmosfera, onde ela é mais densa, pois em maiores altitudes a densidade da atmosfera é baixa demais para ter um papel importante como absorvedor de radiação (exceto pelo caso do ozônio). O vapor de água, que é o mais poderoso dos gases estufa, está presente nas partes inferiores da atmosfera, e desta forma a maior parte da absorção da radiação se dará na sua base. O aumento dos gases estufa na atmosfera, mantida a quantidade de radiação solar que entra no planeta, fará com que a temperatura aumente nas suas partes mais baixas. O resultado deste processo é o aumento da radiação infravermelha da base da atmosfera, tanto para cima como para baixo. Como a parte inferior (maior quantidade de matéria) aumenta mais de temperatura que o topo, a manutenção do balanço energético (o que entra deve ser igual ao que sai) dá-se pela redistribuição de temperaturas da atmosfera terrestre. Os níveis inferiores ficam mais quentes e os superiores mais frios. A irradiação para o espaço exterior se dará em níveis mais altos com uma temperatura equivalente a de um corpo negro irradiante, necessária para manter o balanço energético em equilíbrio.

Até o presente momento, já foi revisto como é a forma de exploração florestal, a geração de resíduo e os gases do efeito estufa. Nosso objetivo é quantificar o carbono, para isso é necessário elaborar um ciclo de vida para posteriormente fazer o balanço do mesmo

para o cenário do estudo de caso realizado na dissertação. A seguir será apresentado um pouco do balanço de carbono, no terceiro capítulo será abordado sobre o ciclo de vida.

## 2.5 BALANÇO DE CARBONO

Segundo Nobre (2002), o balanço global de carbono na atmosfera de nosso planeta, das cerca de 8 bilhões de toneladas de carbono emitidos anualmente na forma de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) pela queima de combustíveis fósseis e mudanças dos usos da terra, 3,2 bilhões permanecem na atmosfera, provocando o aumento do efeito estufa. O restante é reabsorvido pelos oceanos e pela biota terrestre. A Tabela 2 apresenta um resumo do balanço global de carbono para as décadas de 1980 e 1990, publicado no relatório do IPCC de 2001. Nota-se o grande papel da biota terrestre como o principal sumidouro do excesso de carbono atmosférico. Estima-se que esse sumidouro tenha sido responsável por retirar 1,9 gigatonelada de carbono por ano da atmosfera na década de 1980 e por um valor ainda maior na década de 1990.

**Tabela 2 - Resumo do balanço global de carbono**

	Década de 1980	Década de 1990
Aumento na atmosfera	3,3 ± 0,1	3,2 ± 0,1
Emissões (combustível fóssil, produção de cimento)	5,4 ± 0,3	6,3 ± 0,4
Fluxo oceano-atmosfera	-1,09 ± 0,6	-1,7 ± 0,7
Fluxo superfície terrestre-atmosfera*	-0,2 ± 0,7	-1,4 ± 0,7
Particionado como		
Mudança dos usos da terra	1,7 (0,6 a 2,5)	n.d.
Sumidouro terrestre residual	-1,9 (-3,8 a 0,3)	n.d.

Fonte: tabela adaptada de Prentice, 2001, p. 190.

\*O fluxo superfície terrestre-atmosfera representa o balanço de um termo positivo devido às mudanças dos usos da terra e um sumidouro terrestre residual. Os dois termos não podem ser separados com base nas medições atmosféricas atuais. Utilizando análises independentes para estimar o componente que se deve às mudanças dos usos da terra para a década de 1980, o sumidouro terrestre residual pode ser estimado para esta década. Entretanto, dados globais sobre as mudanças dos usos da terra para a década de 1990 não se encontram ainda disponíveis.

De acordo com Nobre (2002) há evidências apontando que as florestas temperadas e as florestas tropicais estão re-assimilando parte desse excesso de CO<sub>2</sub> atmosférico. Levando em conta que há um número 10 a 20 vezes maior de estudos do balanço de carbono para

latitude médias do hemisfério norte em comparação com estudos do ciclo de carbono das florestas tropicais do planeta. Para tal linha de pensamento, este trabalho vem somar um estudo para floresta tropical, em especial o estado do Pará, visando às atividades madeireiras.

Até o momento foi observado de maneira geral o CO<sub>2</sub> que é emitido e absorvido na atmosférica e nas florestas, a seguir é feito um comentário sobre o ciclo de carbono na floresta.

### 2.5.1 Ciclo de carbono Florestal

De acordo com Costa (2009), a composição e estrutura de um ecossistema dependem basicamente da taxa de fixação de carbono e da sua taxa de mortalidade. A taxa de fixação de carbono em um ecossistema, ou produção primária líquida (NPP, *Net Primary Production*), é o fluxo líquido de carbono da atmosfera para as plantas, e é igual à diferença entre a fotossíntese bruta (GPP, *Gross Primary Production*) e a respiração autotrófica dos ecossistemas (RA), integrada ao longo do tempo ( $NPP = GPP - RA$ ). A NPP também pode ser relacionada à troca líquida do ecossistema (NEE) e à respiração heterotrófica dos ecossistemas (RH),  $NEE = NPP - RH$ .

A NPP é sensível a vários fatores de controle, incluindo aspectos relacionados ao clima, topografia, solos, planta, características microbianas, distúrbios, e impactos antropogênicos. Observou-se durante esta revisão bibliográfica o grau de complexidade do ciclo do carbono na floresta, então dessa forma, para fazer um trabalho bem detalhado seria necessário recurso, tempo e mais pessoas envolvidas para fazer o levantamento de todos dos dados acima mencionados, sendo assim, este trabalho fundamentou-se em publicações de diversos pesquisadores.

De acordo com o trabalho de Nogueira et al. (2007), os maiores erros no balanço de carbono da região tropical são oriundos de incertezas nas estimativas de biomassa acima do solo das florestas (Houghton, 2003a, 2005; Houghton et al., 2001). A densidade da madeira é uma importante variável para aperfeiçoar as estimativas de estoque de carbono e de emissões de gases de efeito-estufa por desmatamento ou quando a floresta é convertida para outros usos (Baker et al., 2004; Chave et al., 2005; Fearnside, 1997; Nogueira et al., 2005; Malhi et al., 2006). Isto ocorre porque a densidade de madeira é necessária para converter inventários de volume de madeira para biomassa (Brown et al., 1989; Brown, 1997; Fearnside, 2000 a,b;

Houghton et al., 2001). Nogueira et al., (2007) fez a correção do balanço de carbono utilizando a densidade calculada por ele em seu trabalho, os valores calculados por Nogueira et al.,(2007) foi utilizado no cálculos deste trabalho de dissertação .

Para fazer o balanço de carbono foi necessário implementar um modelo específico de ciclo de vida para analisar o ciclo de carbono na floresta juntamente com o processo de beneficiamento das toras. Pela complexidade de uma análise do ciclo de vida, no capítulo 3 será abordado o Ciclo de vida contemplando a história, filosofia, as definições, metas, o inventário, análise de impactos, a interpretação, os tipos de impactos e a limitação na elaboração do ciclo de vida no estudo do mesmo.

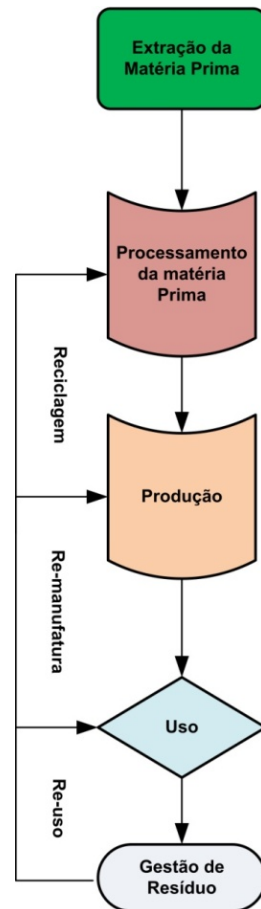
### 3 CICLO DE VIDA

Todo produto causa, de alguma forma, um impacto sobre o meio ambiente. Esses impactos podem ocorrer durante a extração das matérias-primas utilizadas no processo de fabricação do produto, no próprio processo produtivo, na sua distribuição, no seu uso, ou na sua disposição final. Desta maneira um sistema de gestão deve apresentar soluções ambientalmente sustentáveis que minimizem os impactos associados. Essa minimização deve ser dirigida tanto às emissões na biosfera, quanto à conservação dos recursos energéticos e matérias, levando em conta os aspectos potenciais ligados ao consumo de recursos naturais, à saúde humana e à ecologia.

A técnica bem difundida para quantificar de forma global e objetiva as cargas ambientais de uma atividade é a ACV - Análise do Ciclo de Vida (anexo 1), que integra a série de normas ISO 14000. Trata-se de uma ferramenta de gestão ambiental de grande valia na análise da eficiência energética da cadeia de suprimentos como forma de aprimorar econômica e ambientalmente o projeto de um produto, ou seja, aumentar sua eco-eficiência (OTA, 1992). A ABNT (ABNT NBR ISO 14040:2009) define a ACV como: “uma técnica para avaliar aspectos ambientais e impactos potenciais associados a um produto mediante”:

Pela amplitude das possibilidades de aplicação da ACV este trabalho utilizou a norma para compilar os fluxos mássicos e energéticos de entrada, saída e avaliar os potenciais impactos ambientais associados a geração de energia empregando biomassa, levando em consideração os cinco estágios típicos do ciclo de vida de um produto é ilustrados na Figura 1, que ordena as fases de extração de matéria prima, processamento da matéria-prima, produção, uso final e gestão de resíduos.

**Figura 1 – Estágio do ciclo de vida de um produto ou serviço**



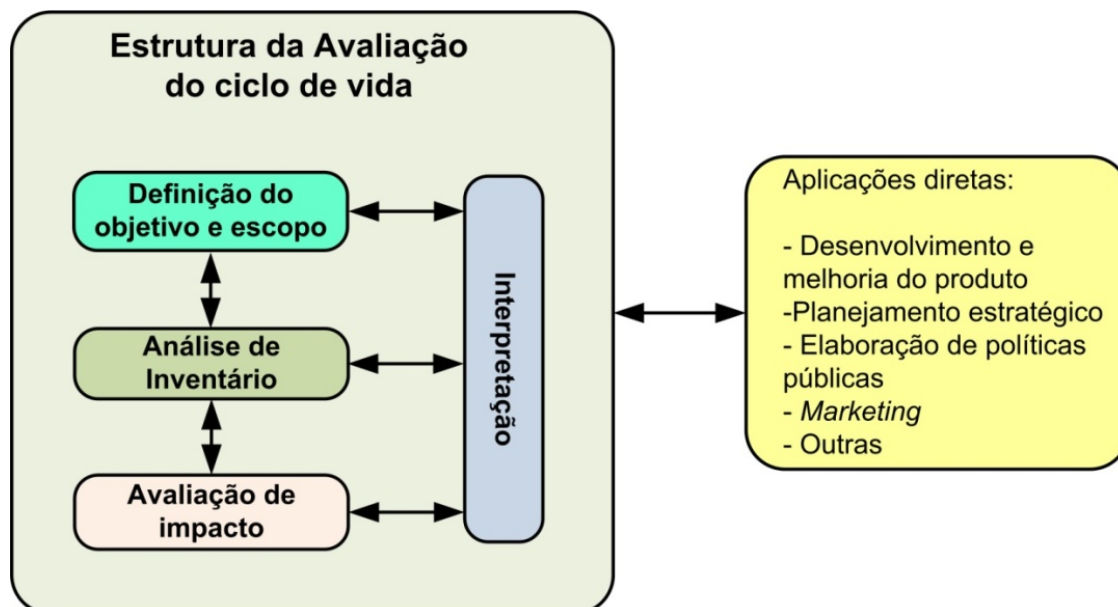
Fonte: Arquivo Pessoal

Na mesma linha de pesquisa com biomassa vegetal podem ser destacados os estudos de Jyri Seppala, et al(1998) na Finlândia, que avaliou impactos ambientais da indústria da floresta de Finlândia e dos seus estágios do ciclo de vida. Identificou as necessidades de melhorias ambientais no setor da floresta durante os próximos 10 anos e avaliou os instrumentos da política ambiental que visavam realçar o desenvolvimento sustentável dentro do setor da floresta. Outro relevante trabalho é o estudo realizado por Gower (2004) que teve o objetivo de sintetizar os componentes principais do ciclo do carbono na floresta e examinar como as mudanças globais que podem afetar a troca de carbono entre florestas e a atmosfera. Nesta dissertação, o estudo foi focado para a região amazônica em especial o estado do Pará, onde foi realizada uma análise do ciclo de vida nas madeireiras instaladas em comunidades isoladas da região no entorno do município de Breves.



A norma da ACV determina que a execução seja realizada seguindo fases estabelecidas. A figura 2 esquematiza tais fases.

Figura 2 - Fases da ACV



Fonte: Arquivo Pessoal

### 3.1 DEFINIÇÃO DA META E EXTENSÃO DOS ESTUDOS (OBJETIVO E O ESCOPO)

Na fase de *definição de objetivo e escopo* a NBR ISO 14040(2009) estabelece que devam ser definidos os objetivos do estudo, declarar a aplicação pretendida, as razões para sua condução e seu público-alvo.

O escopo refere-se a três dimensões básicas: a extensão, indicando o início e término do estudo; a largura indicando os níveis de análises a serem incluídos e a profundidade que estabelece qual o nível de detalhamento da análise. As três dimensões devem ser realizadas de forma a atender os objetivos estabelecidos.

Essas definições de meta e extensão são como um guia, mas não se trata de um documento estático. Pode ser adaptado durante o andamento dos estudos, mas de maneira consciente e cuidadosa. Assim, para uma reavaliação do escopo e objetivos deve-se considerar nesta fase do estudo: o sistema a ser estudado;

- a definição dos limites do sistema;

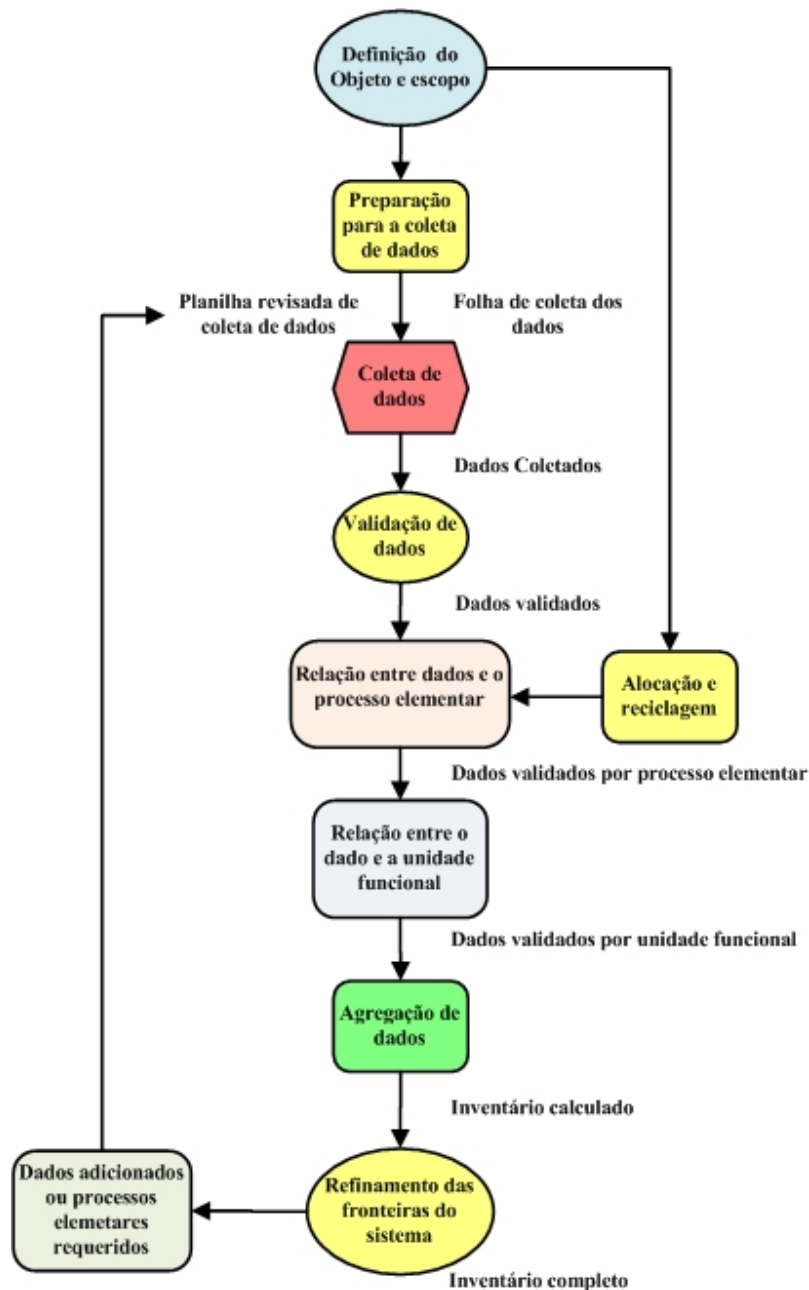
- a definição das unidades do sistema;
- o estabelecimento da função e da unidade funcional do sistema;
- os procedimentos de alocação;
- os requisitos dos dados;
- as hipóteses de limitações;
- a avaliação de impacto, quando necessária e a metodologia a ser adotada;
- a interpretação dos dados, quando necessária e a metodologia a ser adotada e
- o tipo e o formato do relatório importante para o estudo e a definição dos critérios para a revisão crítica, se necessário.

Como o objeto de estudo é uma madeireira do Município de Breves, todos os preceitos ditados norma para a fase foram aplicados nas condições locais.

### 3.2 INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA (ICV)

Nesta etapa é elaborado um modelo de ciclo de vida para o produto em questão considerando todos os fluxos ambientais de entrada e saída. A Análise do Inventário (NBR ISO 14041) refere-se à coleta de dados e ao estabelecimento dos procedimentos de cálculo para que se possa facilitar o agrupamento destes dados em categorias ambientais normalmente utilizáveis e comparáveis, de modo semelhante a um balanço contábil. A Figura 3 apresenta as etapas operacionais a serem realizadas em um Inventário de Ciclo de Vida.

Figura 3 - Procedimento simplificado para a análise do inventário



Fonte: Arquivo Pessoal

Em uma Análise de Inventário, o escopo e os objetivos de um estudo fornecerão o plano inicial para a realização do mesmo, estabelecendo o conjunto inicial de processos elementares e categorias de dados associados.

Esta fase da Análise do Ciclo de Vida pode tornar-se uma das mais difíceis e trabalhosas, em função da não disponibilidade de dados, da qualidade dos dados disponíveis

ou da necessidade de estimá-los. Embora exista uma boa variedade de software para auxiliar o gerenciamento do ACV em sistemas produtivos como exemplifica a Tabela 3. Os bancos de dados desses softwares foram elaborados em locais de diferentes realidades do local da pesquisa, representando uma possibilidade de erro nos resultados. Desta maneira, foi desenvolvido um modelo para a região norte do Brasil, mais especificamente o estado do Pará para ser aplicado na presente pesquisa.

**Tabela 3 - Software para realização de ACV**

Software	Site
GaBi 4.0	<a href="http://www.gabi-software.com/">http://www.gabi-software.com/</a>
Umberto 3.0	<a href="http://www.ifu.com/software/umberto-e/">http://www.ifu.com/software/umberto-e/</a>
SimaPro 5	<a href="http://www.pre.nl/simapro.html">http://www.pre.nl/simapro.html</a>
GEMIS	<a href="http://www.oeko.de/service/gemis/en/index.htm">http://www.oeko.de/service/gemis/en/index.htm</a>

Fonte: Arquivo Pessoal

Portanto, deve-se levar em consideração: a necessidade de uma estratégia cuidadosa na preparação para a coleta de dados, a coleta de dados, o refinamento dos limites do sistema, a definição dos procedimentos de cálculo e os procedimentos de alocação.

A norma (ABNT NBR ISO 14040: 2009) recomenda três grandes conjuntos de categorias de dados: Insumos-energia, matérias-primas, matérias auxiliares e outras entradas físicas; produtos; emissões (ar, água, terra, etc).

Os dados para a coleta podem ser divididos em dois tipos: os dados expeditos e os genéricos. Os dados expeditos são dados específicos relevantes para a modelagem do sistema, que descrevem um sistema especializado de produtos. Os dados genéricos são para materiais, energias, transporte e sistema gerenciamento de perdas.

### 3.3 ANÁLISE DO IMPACTO DO CICLO DE VIDA (AICV)

Esta etapa visa compreender a relevância ambiental de todos os fluxos de entrada e saída. A Avaliação do Impacto (NBR ISO 14044) refere-se à identificação e avaliação em termos de impactos potenciais ao meio ambiente que podem ser associados aos dados levantados no inventário. Como neste, há a necessidade de uma definição de meta e a extensão da mesma, ele torna-se um guia de seleção de método e categoria de impacto. Esta

fase da ACV é apontada para compreensão e avaliação da magnitude e significado dos impactos ambientais potenciais de um sistema de produtos.

Existe na descrição da norma NBR 14044, uma distinção feita entre os elementos obrigatórios, como classificação e caracterização, e os elementos opcionais, como normalização, posicionamento, agrupamento e pesagem. Este procedimento é realizado pelo uso das categorias de impacto, que representam problemas ambientais que potencialmente podem ser provocados (ou incrementados) pelos aspectos ambientais em questão. De acordo com a norma ABNT NBR ISO 14040:2009, a AICV é composta de elementos obrigatórios e opcionais, da seguinte forma:

### **3.3.1 Elementos obrigatórios**

**Classificação:** consiste no relacionamento qualitativo entre os aspectos identificados no Inventário do Ciclo de Vida (ICV) e as categorias de impacto às quais estes contribuem. É importante ressaltar que muitas vezes algum dos aspectos ambientais do ICV, principalmente algumas emissões de poluentes, podem contribuir para mais de uma categoria de impacto simultaneamente.

**Caracterização:** a caracterização consiste na quantificação da classificação, ou seja, na determinação numérica de qual é a contribuição de cada aspecto a cada categoria de impacto (CONSOLI et al., 1993). Este procedimento é feito por meio da conversão dos resultados do ICV em unidades comuns (através de fatores de equivalência, também conhecidos como fatores de caracterização), e posterior agregação de resultados, dentro de cada categoria de impacto.

Ao final da Caracterização obtém-se um valor total de contribuição daquele ciclo de vida para cada categoria de impacto. Este resultado muitas vezes já é o suficiente para os propósitos da ACV, uma vez que permitem conhecer, dentro das hipóteses admitidas, as contribuições do ciclo de vida do produto para as categorias de impacto.

### **1.1.2 Elementos opcionais**

**Normalização:** tem por objetivo prover uma melhor avaliação da magnitude dos resultados da caracterização, calculando a representatividade dos valores encontrados em relação a um valor de referência estabelecido para cada categoria de impacto. Alguns exemplos de valores de referência são: total das emissões (ou uso de recursos) de uma determinada área (país, região, etc.) em um ano, o mesmo per capita, ou ainda um cenário de referência, elaborado a partir do uso de uma alternativa ao sistema de produto avaliado (comparação entre alternativas).

**Agrupamento:** nada mais é do que uma reordenação da apresentação das categorias de impacto. Basicamente, segundo a norma NBR ISO 14.040:2009, há duas maneiras de realizar este processo. Primeiro é a ordenação das categorias de acordo com seu “tipo”, ou seja, em “efeitos sobre o meio físico”, “efeitos sobre o meio biótico”, “consumo de recursos não-renováveis”, etc. Hierarquização das categorias; o segundo o critério não numérico da ordem de importância (ex: alta, média e baixa importância), o que evidentemente subentende um julgamento de valores. Este procedimento já leva a uma interpretação para a tomada de decisões, e deve ser coerente com os objetivos e escopo do estudo. Cada instituição ou grupo social tem valores e preferências distintos e, portanto em cada situação onde for pesquisado pode haver diferentes hierarquizações. É muito importante determinar, também em função do objetivo e escopo, como esta será desenvolvida.

**Valoração (ou ponderação):** consiste em determinar a ponderação das categorias de impacto, ou seja, escolher um “peso” relativo entre estas. Dependendo da posterior agregação, essa etapa pode ser útil para converter os valores da normalização de modo a expressar numericamente a preferência ou para agregar as categorias de impacto de modo ponderado, formando um único indicador do desempenho ambiental do sistema de produto.

#### 1.4 A INTERPRETAÇÃO DO ESTUDO

A interpretação dos resultados de ACV (ISO 14043) é uma das etapas mais sensíveis, porque as hipóteses estabelecidas durante as fases anteriores, assim como as adaptações que podem ter ocorrido em função de ajustes necessários, podem afetar o resultado final do estudo. A interpretação, segundo a norma ISO 14043, descreve uma série de averiguações necessárias às conclusões do estudo.

O objetivo da etapa de interpretação de uma ACV é combinar, resumir e discutir resultados do estudo, com o intuito de obter fundamentos para conclusões e recomendações que satisfaçam os objetivos inicialmente propostos. Além disso, tem a função de desenvolver uma apresentação dos resultados na forma de um relatório consistente e transparente.

Para efetuar a interpretação são necessários quatro tipos de informação (NBR ISSO 14044:2009):

- Resultados das etapas anteriores (ICV e/ou AICV),
- Escolhas metodológicas (critérios de alocação, fronteiras, categorias de impacto, etc.),
- Juízos de valores admitidos e relação dos envolvidos, seus interesses e obrigações.

De acordo com a norma ISO 14.043 (ISO, 2000b), existem três elementos básicos na interpretação.

#### **1.4.2 Identificação dos temas de relevância**

Uma vez que os resultados do ICV ou do AICV estiverem de acordo com a meta e escopo do estudo, deve-se proceder à identificação dos pontos mais relevantes do estudo. Segundo a norma ISO 14.043 (ISO, 2000b), estes podem ser: aspectos do inventário ou suas categorias (uso recursos não renováveis, consumo energia, geração resíduos, etc.), categorias de impacto, e operações unitárias, processos como transporte, geração vapor, etc.

Existem diversas técnicas para esta identificação e os procedimentos a serem seguidos variam de caso a caso.

## 4 AVALIAÇÕES

Esta parte do estudo tem como função determinar a confiabilidade nos resultados, incluindo os temas e relevância identificados anteriormente. Os resultados devem ser apresentados de forma clara e compreensível ao usuário. De acordo com a ISO (2000b), pode-se descrever cada uma de suas etapas como se segue:

- **Análise de abrangência:** tem como objetivo verificar se todas as informações relevantes e dados necessários estão disponíveis e completos. Pode resultar na adição de comentários extras ao relatório do estudo, ou mesmo a revisão do ICV ou do AICV;
- **Análise de sensibilidade:** tem como objetivo avaliar a confiabilidade final dos resultados e conclusões, determinando quanto estes são afetados pelas incertezas dos dados, métodos de alocação, cálculos dos indicadores, etc. Esta avaliação deve levar em conta as hipóteses e simplificações feitas na etapa de definições, as análises de sensibilidade e incerteza já realizadas nas etapas de ICV e AICV, e a opinião de especialistas na área e experiências anteriores.
- **Análise de consistência:** avalia o quanto as hipóteses, métodos e dados obtidos são consistentes com as definições iniciais. Verifica-se, por exemplo, as diferenças de qualidade de dados entre as diferentes etapas do ciclo de vida, se houve consideração de variações temporal-espaciais, se a aplicação de alocação e estabelecimento de fronteiras foi adequada, se os elementos da avaliação de impacto estão de acordo com o estabelecido ao início, etc.



## 5 CONCLUSÕES, RECOMENDAÇÕES E RELATÓRIO

Esta última etapa da ACV tem como objetivo estabelecer conclusões e recomendações para os usuários do estudo. Além disso, deve através do relatório, fornecer uma visão transparente e completa do estudo. Estas ações devem ser feitas como segue (ISO, 2000b):

- Conclusões: devem ser estabelecidas de modo iterativo com outros elementos da etapa de interpretação, sempre considerando as definições iniciais;
- Recomendações: sempre que apropriado à meta e ao escopo estabelecido, devem ser feitas recomendações aos tomadores de decisão que irão utilizar resultados da ACV. Estas devem ser baseadas nos resultados do estudo e justificadas de modo a refletir as consequências lógicas e razoáveis destes, e,
- Relatório: uma vez que já se tenha considerado o estudo terminado, seus resultados devem ser relatados ao público alvo. O formato deste relatório deve ser definido na etapa de definições do estudo, embora a norma ISO 14.040 (ISO, 1997) relacione alguns itens fundamentais.

A norma ISO 14.040 (ISO, 1997) ainda requer, após o término do estudo, a elaboração de uma avaliação, denominada de Análise Crítica, que deve verificar o atendimento da norma pelo estudo quanto à metodologia, dados e relatório. Tanto o realizador do estudo como o modo de condução do mesmo deve ser definido a priori, e a norma (ABNT NBR ISO 14040:2009) traz considerações a respeito dos objetivos, necessidades, processo e responsáveis por este procedimento.

Os procedimentos para alocação que possuem mais de uma saída de interesse para o sistema produtivo, além de originar mais de um produto, podem gerar subprodutos que são incorporados a processos através de reuso ou reciclagem. O procedimento de alocação busca criar um método de distribuição das contribuições aos impactos entre os diferentes resultados do sistema (WENZEL et al., 1997). A cada produto ou subproduto atribui-se então uma parcela dos aspectos que o sistema possui até o momento de sua geração. Existem diversas técnicas de alocação e cada um segue um critério, sendo os mais conhecidos os de massa (que aloca proporcionalmente às massas dos produtos do sistema); e o econômico (que o faz proporcionalmente ao valor de mercado de cada produto).

## 5.1 TIPOS DE IMPACTO E METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DE IMPACTOS

Para que seja dada sequência aos estudos após o inventário, é necessário que se estabeleçam critérios de avaliação dos aspectos ambientais. Isto é feito através da definição das categorias de impacto, que é a denominação genérica dos tipos de impacto que serão considerados no estudo, e sua definição deve ser particular para cada estudo, e de acordo com seu propósito específico. Exemplos são: aquecimento global, acidificação do solo, toxicidade humana, consumo de recursos naturais, etc.

Os estudos de ACV, apesar de toda a orientação normativa, continuam a ser descrições imperfeitas do sistema de produção. Existe um potencial de incerteza relativa à qualidade dos dados, e mesmo involuntariamente, certa subjetividade pode estar presente desde o início dos estudos.

Assim, no intuito de reduzir os riscos de manipulações, abusos na condução ou mesmo erros involuntários devido à complexidade dos estudos, a norma NBR ISO 14.040 salienta que uma revisão crítica pode ser realizada por um especialista independente do estudo de ACV.

Ao se tratar de afirmações comparativas ou públicas, estas devem passar obrigatoriamente por uma revisão crítica externa independente, pois o uso de resultados de ACV para apoiar afirmações comparativas levanta preocupações especiais e requer análise crítica, uma vez que esta aplicação provavelmente afeta partes interessadas que são externas ao estudo de ACV.

As Análises Críticas são realizadas para diminuir a possível existência de mal entendidos ou efeitos negativos em relação às partes externas interessadas, sendo conduzidas às análises críticas em estudos de ACV quando os resultados são usados para apoiar afirmações comparativas. O fato de uma análise crítica ter sido conduzida não implica de modo algum em um endosso a qualquer afirmação comparativa que seja baseada num estudo de ACV. Esta análise pode ser feita tanto por um especialista externo quanto por uma comissão, a qual pode incluir representantes das partes interessadas. A declaração sobre a análise crítica e o relatório da comissão de análise crítica, assim como comentários do especialista e quaisquer respostas às recomendações feitas pelo analista ou pela comissão, deve ser incluída no relatório de estudo de ACV.

## 5.2 LIMITAÇÕES NA ELABORAÇÃO DO ESTUDO DE ACV

Um estudo que utiliza a metodologia da Avaliação do Ciclo de Vida quase sempre consome muito tempo, recursos financeiros e humanos e, dependendo da profundidade do estudo que se pretende conduzir, pode existir grande dificuldade na coleta de dados por várias outras razões. Essa questão, principalmente quando se trata de dados importantes pode afetar de alguma forma o resultado final do estudo e, por consequência, na sua confiabilidade.

Sendo assim, é necessária uma avaliação criteriosa da relação custo-benefício para se atingir à qualidade desejada no estudo, levando-se em consideração qual tipo de dado deverá ser pesquisado, o custo e o tempo empregado para sua coleta e os recursos disponíveis para a condução do estudo. A ACV é uma ferramenta técnica ainda em evolução e portanto, análises comparativas de processos ou produtos devem ser evitadas.

Para os casos de comparações levadas ao conhecimento público, dadas as limitações da ACV, deve ser obedecido o estabelecido na norma NBR ISO 14040. Deve-se ainda observar que, em virtude da complexidade da ferramenta, podem existir ainda incertezas na qualidade dos dados e nos seus resultados, além de haver certo grau de subjetividade.

Cabe ressaltar que a ACV, não é uma ferramenta capaz de medir qual produto ou processo é o mais eficiente tanto em relação ao custo quanto em relação a outros fatores, já que não mede, por exemplo, impactos reais ambientais, e sim impactos potenciais. Mas as informações resultantes de seu estudo podem e devem ser utilizadas como uma ferramenta que auxilie num amplo processo decisório que levem em consideração outros fatores.

A importância do emprego da ACV na pesquisa permite dar uma avaliação ampla dos impactos ambientais nos várias etapas do processo de geração de energia diferentemente da forma tradicional que considera os impactos ambientais somente pontuais considerando apenas o local da unidade de geração de energia.

## 6 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento de um procedimento numérico e experimental indicando quantitativamente a geração de resíduos da atividade madeireira no cenário do estuarino da foz amazônica, levando em conta os valores econômicos da madeira, consumos energéticos e fatores ambientais, como a utilização de resíduos e balanço de carbono. Inicialmente foi necessário quantificar o resíduo produzindo no processo produtivo, fazer o levantamento do consumo energético, entender a forma de exploração florestal e fazer o balanço de carbono despendido por madeireiras que esteja de acordo com o proposto por este trabalho.

Para o cumprimento do citado no parágrafo anterior, as metodologias adotadas foram enquadradas nas etapas desenvolvidas ao que rege o estudo do Ciclo de vida. Dessa forma, a metodologia foi dividida em quatro etapas, a primeira consiste na definição do objetivo e escopo; a segunda, fazer uma análise do inventário; a terceira a avaliação de impactos ambientais; a quarta as ferramentas utilizadas para interpretação do estudo. Cada etapa será detalhada a seguir.

### 6.1 DEFINIÇÃO DO OBJETIVO E ESCOPO

Neste item, foi realizada uma análise da exploração florestal da madeira da comunidade de Santo Antônio, contemplado a área de exploração, a forma de exploração, o transporte da matéria prima e o processo produtivo. A partir dessa análise foram levantados os dados pertinentes (volume de madeira que entra e que sai da madeireira, área explorada pela madeireira, identificação dos resíduos, quantificação dos resíduos) para o desenvolvimento deste trabalho.

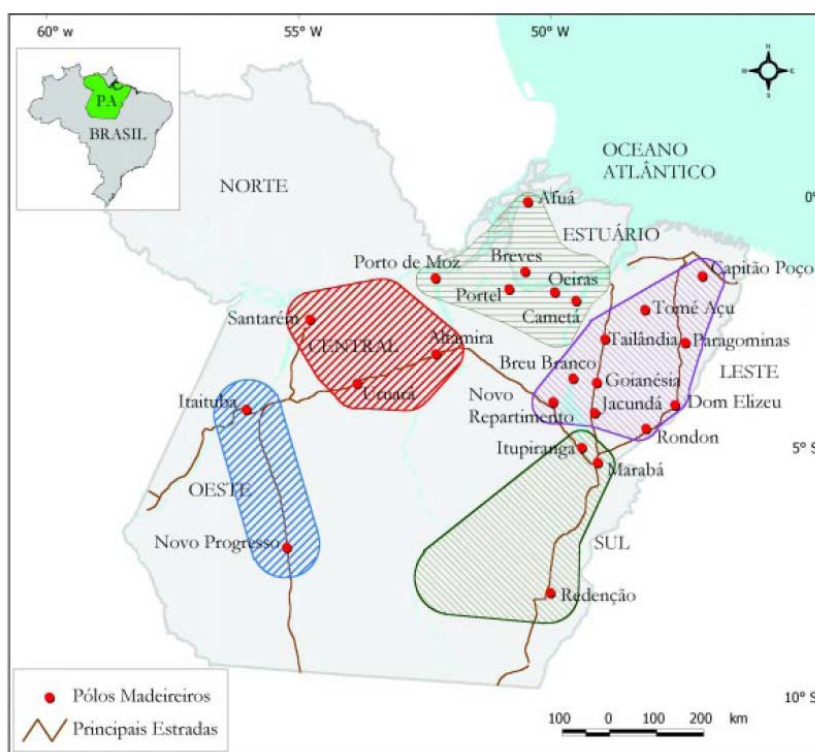
#### 6.1.1 Caracterização da empresa típica

Na zona estuarina como caracterizada por Veríssimo et al., (2002) existiam 557 madeireiras no estado do Pará, destas 505 são serrarias com serras circulares. Sendo que a zona estuarina é composta pelos municípios de Afuá, Breves, Cametá, Oeiras, Portel e Porto de Moz. Nessa região a exploração da floresta é seletiva e a principal madeira explorada é a

virola (*Virola elongata* (Benth.) Warb e *Virola surinamensis* Warb). Geralmente os extratores retiram as árvores, em torno de 1 a 2 indivíduos por hectare, com utilização de motosserra ou machado, com a própria força física levam até o rio próximo a zona de exploração. As toras retiradas da floresta são transportadas por meio de jangadas até o local de seu processamento, para isso usam uma pequena embarcação que utiliza como combustível o diesel. Na região estuarina os exploradores de madeira que processam as toras retiradas da floresta na sua grande maioria possuem serrarias que utilizam serra do tipo circular, que por sua vez também utiliza diesel para manter a serraria operando.

A Figura 4 ilustra as cinco regiões de exploração de madeira caracterizada e classificada por Veríssimo et al., (2002).

**Figura 4- Polos e zonas madeireiras do Pará**



(Fonte: Veríssimo et al, 2002)

### 6.1.2 Local de estudo

O estudo de caso concentrou-se no município de Breves, devido ter sido contemplado pelo Projeto Marajó (EBMA 2007), ver Figura 5. O referido projeto consistiu na

instalação de uma usina termoelétrica a biomassa, uma fábrica de extração de óleo vegetal e uma fábrica de gelo na Comunidade de Santo Antônio, na qual a partir de maio de 2007, entrou em funcionamento a usina de geração de energia com fonte renovável, com potência de 200 kW, utilizando biomassa florestal como combustível, agregada a usina, a fábrica de extração de óleo vegetal e a fábrica de gelo com câmara frigorífica (EBMA 2007).

**Figura 5 - Projeto Marajó**



Fonte: Arquivo Pessoal

A Comunidade de Santo Antônio localiza-se na ilha de Siriri distante aproximadamente 25 km da cidade de Breves, a Figura 6 ilustra a localização da referida comunidade. Atualmente vivem na comunidade 11 famílias ribeirinhas que tem sua fonte de renda voltada ao desdobro da madeira, agricultura e pesca.

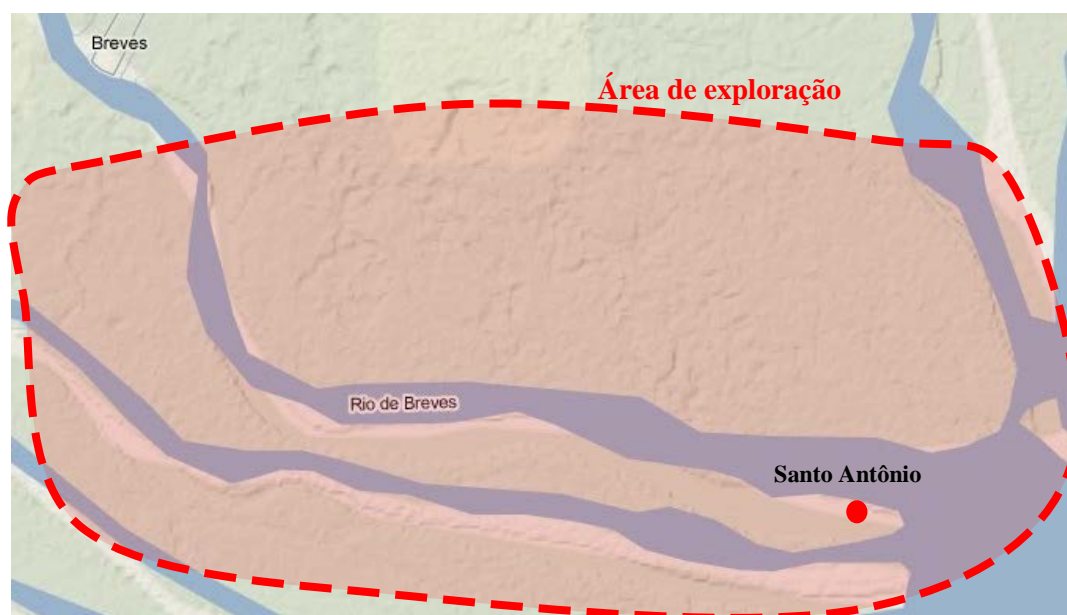
Figura 6 - Localização do Projeto Marajó: S 01° 47,658'W 50° 19,343'



Fonte: Arquivo Pessoal

A área de exploração da serraria instalada consiste na área das ilhas vizinhas a comunidade, ver Figura 7. De acordo com os moradores locais da comunidade de Santo Antônio, eles exploram uma área de aproximadamente 10 km de raio a partir da comunidade, ou seja, uma área de exploração de aproximadamente 314 km<sup>2</sup>, o que submete a uma área equivalente de 34.889 campos de futebol, sem levar em conta a área dos rios presentes.



**Figura 7- Área de Exploração florestal**

Fonte: Arquivo Pessoal

Após a retirada das árvores de valor econômico da área de exploração, essas árvores são retiradas já em forma de torras da floresta, deixando dentro da floresta, os galhos e os restos das árvores. Essas torras são transportadas até a serraria instalada na comunidade, ver Figura 8.

**Figura 8 - Matéria prima a ser processada**

Fonte: Arquivo Pessoal



## 6.2 ANÁLISE DO INVENTÁRIO

Nesta etapa foi realizada uma análise no cenário estudado contemplando a caracterização da empresa típica, onde foi levado em consideração a forma de coleta das toras, o transporte, recebimento e desdobros das toras, a armazenagem e expedição do produto final.

### 6.2.1 Caracterização da empresa típica

#### 6.2.1.1 Coletas das torras

Como já comentado anteriormente, as toras processadas na comunidade de Santo Antônio são retiradas nas ilhas vizinhas a ilha do Siriri, ou em muitos casos eles compram toras de pessoas que vivem da comercialização da exploração da floresta. Durante o período da pesquisa foi observado a forma de exploração que os moradores locais realizam na floresta.

A exploração florestal é baseada nos conhecimentos empíricos dos moradores da comunidade. A região de exploração sofre influência da maré então eles aproveitam os meses em que a maré é mais alta para retirar as árvores de valor comercial da parte mais central dos locais de exploração. Um tempo antes das ocorrências das marés altas, que no caso ocorrem nos meses de fevereiro e março, ou seja, nos meses do período de verão, eles aproveitam o período de seca para marcarem as árvores de valor econômico e de capacidade de desdobramento da serraria para retirarem as torras nos períodos de maré altas da floresta. Enquanto nos meses em que a maré não está alta a ponto de chegar ao interior das ilhas eles retiram as árvores próximas de rios e igarapés, possibilitando assim a retirada das toras da floresta, pois o rio é o principal meio de transporte dessa região.

Para efeito de cálculo, foi considerado o trabalho de Almeida et al. (2004) o qual realizou análise fitossociológica e da estrutura em 4 inventários florísticos executados em parcelas de 1 hectare de florestas inundáveis de várzea localizadas na área do estuário e do baixo Amazonas, realidade essa semelhante a área de exploração da comunidade de Santo Antônio. Como já dito anteriormente a principal madeira explorada na comunidade é a virola. De acordo com o trabalho de Almeida et Al (2004) a população dessa família de árvores

estuda é de 62 árvores por hectare para a levantamento realizado na Cidade de Senador Jose Porfirio e 19 árvores por hectare para o levantamento do município de Chaves.

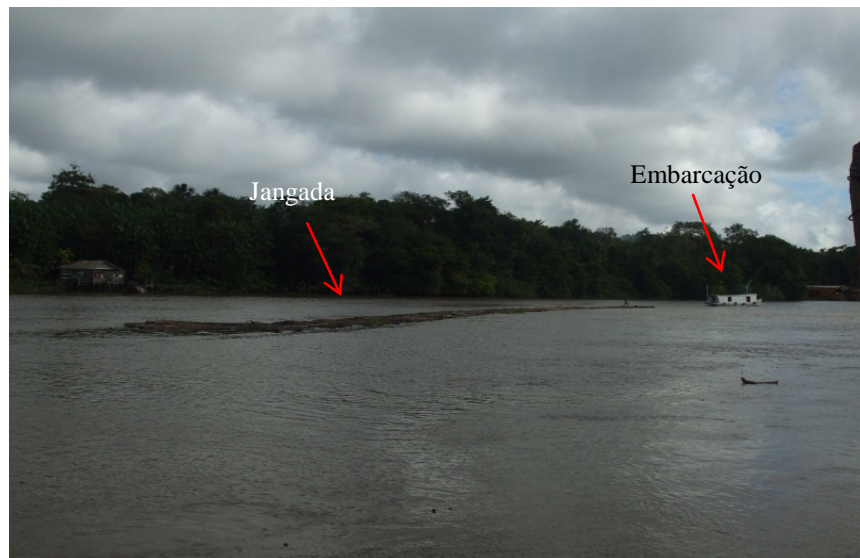
Para este trabalho foi considerado a média da população das árvores de virola dos municípios acima mencionados, ou seja, 40,5 árvores por hectare. A escolha do levantamento realizado nos dois municípios se deu pelo fato dos municípios apresentarem características semelhantes e pela proximidade da região de exploração da comunidade de Santo Antônio. Dessa forma, tomando por base a média, a quantidade de árvores de virola retiradas da zona de exploração é de aproximadamente 5% das árvores de virola da população total de virola.

Do levantamento de Almeida (2004) foram utilizados os números de árvores totais encontradas nas áreas dos municípios de Senador José Porfirio e Chaves. Foi usada a média entre os dois municípios, ou seja, em um hectare tem aproximadamente 676 árvores no município de José Porfirio e 809 árvores na área do município de Chaves. Dessa forma, para efeito de cálculo, foi utilizada a média dos dois municípios para calcular a população arbórea da zona próximo ao local do estudo de caso, ou seja, aproximadamente 743 árvores por hectare.

#### 6.2.1.2 Transporte das Toras

O transporte empregado para transportar as toras da floresta até o local onde elas serão beneficiadas é o fluvial, realizado por meio de jangadas, ou seja, é atrelada uma quantidade de entorno de 80 a 120 toras em um cabo de aço. Essa jangada é transportada pelos rios através de uma pequena embarcação, ver Figura 9.

**Figura 9 - Transporte das torras**



Fonte: Arquivo Pessoal

#### 6.2.1.3 Recebimento das torras

As toras ao chegar à comunidade são destinadas a um local próximo da serraria, ver Figura 10, as toras ficam armazenadas no próprio rio, aguardando o momento para serem desdobradas.

**Figura 10 - Recebimento das torras**



Fonte: Arquivo Pessoal

#### 6.2.1.4 Desdobro

Na comunidade há uma pequena serraria instalada, a qual é dotada de duas serras circulares, uma serra com 101,6 cm de diâmetro e outra serra com 38,1 cm. A serra de maior diâmetro é utilizada para desdobrar as toras, ver Figura 11, enquanto a serra de menor diâmetro é utilizada para confecção de peças 3x3x130 cm, ver Figura 12, as mesmas são vendidas para fábricas de vassouras dos municípios próximos. É relevante ressaltar que o diâmetro da serra maior impossibilita que os funcionários desdobrem toras com diâmetro maior que o diâmetro da serra maior.

**Figura 11 - Desdobro de tora de madeira**



Fonte: Arquivo Pessoal

O produto oriundo do desdobro da serra maior é destinado para fabricação de tábuas, as quais são classificadas como madeira de primeira e de terceira, seu valor econômico está diretamente relacionado com essa classificação. É relevante ressaltar que todo o processo de arraste da madeira do rio ao trilho onde será processada a tora e movimento do carro em cima do trilho é todo manual.

**Figura 12 - Fabricação de peças para confecção de cabos de vassouras**



Fonte: Arquivo Pessoal

#### 6.2.1.5 Resíduo

Durante 10 dias, foi realizado o levantamento *in loco* de dados para a pesquisa na comunidade de Santo Antônio, para efeito dos cálculos foi considerado um dia em que a serraria operou de maneira satisfatória, sem nenhuma interrupção; nesse período foram realizadas medições das toras de madeira na entrada da serraria, ver Figura 13, utilizou-se uma trena de fibra de vidro de 20m, ver Figura 14, para medição do comprimento e perímetro das toras; a medição do perímetro foi realizada obtendo três medições em cada tora, ver Anexo 2, com base no perímetro calculou-se o diâmetro da tora, conforme discutido no item 4.2.2. Para o cálculo do volume considerou-se a médias das três medições, sendo tomada uma em cada extremidade e outra no meio da tora, com um paquímetro mediu-se espessura da casca de cada tora, sendo que foram tomadas duas médias da espessura, uma na extremidade de menor diâmetro e outra na extremidade maior diâmetro, conforme discutido no item 4.2.2, ver anexo 3.

**Figura 13 – Vista das torras que entram na serraria**



Fonte: Arquivo Pessoal

**Figura 14 - Trena de fibra de vidro**



Fonte: Arquivo Pessoal



Para quantificar os resíduos gerados pela serraria, ver Figura 15 e Figura 16, foi feita a pesagem com o auxílio de uma balança digital com capacidade de 130 kg, precisão de 0,01g, ver Figura 17.

**Figura 15 - Geração de resíduo em pó - resíduo**



Fonte: Arquivo Pessoal

**Figura 16 - Balança como capacidade de 130 kg**



Fonte: <http://www.nei.com.br/images/lm/222639.jpg>

A quantificação das tábuas, figura 21, foi possível medindo cada tábua que sai da linha de produção, uma vez que as tábuas não tinham a espessura padrão, devido ao fato da forma com as quais as toras eram desdobras. Os dados referente ao levantamento das medidas das tábuas é encontrado no anexo 4.

**Figura 17 - Biomassa que sai da serraria - madeira de primeira e terceira**



Fonte: Arquivo Pessoal

#### 6.2.1.6 Deposição

Neste item, foi observado que a madeira processada é desposta em uma área ao lado da serraria a céu aberto, ver Figura 19.

**Figura 18 - Deposição da madeira processada**



Fonte: Arquivo Pessoal



As aparas, ver Figura 15, é destina como combustível para ser usado na usina de geração de energia elétrica, ou seja, é aproveitado energeticamente. Enquanto o pó gerado nas serras, ver Figura 16 é destinado como aterro para os caminhos que ligam as casas locais.

#### 6.2.1.7 Armazenamento

O armazenamento da madeira processada é feita no pátio da serraria em seu aberto, conforme mostrado na Figura 19. Sem o devido cuidado com a madeira já processada, o tratamento que eles aplicam é a utilização do produto químico que inibe o ataque de cupim.

#### 6.2.1.8 Expedição

A madeira produzida na comunidade é vendida para comerciantes que navegam pelo rio que circunda a ilha e ao perceberem uma quantidade razoável de madeira empilhada no pátio da serraria, ver Figura 19, atracam seus barcos no trapiche da comunidade e negociam a madeira com o representante da comunidade. O valor econômico da madeira está diretamente relacionado com a sua classificação. No período de levantamento dos dados a madeira de primeira era vendida a R\$180,00 o m<sup>3</sup>, enquanto a madeira de terceira era vendida a R\$90,00 o m<sup>3</sup> e a peças que servirão para produção dos cabos de vassoura eram comercializados a R\$250,00 o m<sup>3</sup>.

### 6.2.2 Cálculo do resíduo

Este item refere-se ao cálculo da quantificação do resíduo de biomassa que foram utilizados neste estudo. No item abaixo é discriminado a metodologia adotada para medição das toras, já no seguinte é mostrado a metodologia adotada para fazer o tratamento dos dados obtidos na medição das toras.

#### 6.2.2.1 Medição real da biomassa

A medição real da biomassa foi possível realizando medições em todo o processo produtivo da madeira, desde a entrada das toras no pátio da serra até o produto final, mensurando os resíduos gerados durante o processo.

Inicialmente foram realizadas três medições do perímetro em cada tora (M1, M2 e M3), conforme ilustra a Figura 20, para efetivação de cálculo do volume da tora inicial foi considerado como se cada tora tivesse a forma de um cilindro. Os dados obtidos com as medições estão no anexo 1.

**Figura 19 - Esquema de uma tora**



Fonte: Arquivo Pessoal

Onde,

$m_1$  – medida na extremidade 1

$m_2$  – medida no meio da tora

$m_3$  – medida na extremidade 2

Para o cálculo do raio ( $R$ ) de cada tora, foi considerada a média aritmética dos raios ( $r_1$ ,  $r_2$  e  $r_3$ ) correspondente a cada medida realizada nas toras conforme a expressão (1).

$$R = \frac{r_1 + r_2 + r_3}{3} \quad (1)$$

O cálculo do  $r_n$ , foi possível a partir das medidas dos perímetros ( $p_1$ ,  $p_2$  e  $p_3$ ) realizada nas toras antes do seu desdobro, o cálculo do perímetro é dado por:  $p = 2 \times \pi \times r$ , subtraindo a espessura da casca correspondente a cada medida realizada nas toras, teremos:

$$r_n = \frac{P_n}{2 \times \pi} - e_n \quad (2)$$

Onde,

$e_n$  – espessura da torra equivalente a cada ponto de medida

$n$  – valor equivalente a cada ponto de medida

No final do processo foram realizadas as medições da espessura, largura e comprimento de cada tábua, a Figura 21 ilustra esquematicamente as dimensões de uma tábua; e das peças de madeira para fabricação do cabo de vassoura, a Figura 22 ilustra as dimensões da peça mensuradas.

**Figura 20 - Esboço de uma tábua**



Fonte: Arquivo Pessoal

**Figura 21 - Esboço de uma peça para fabricação de cabo de vassoura**



Fonte: Arquivo Pessoal

A quantificação do pó gerado no processo produtivo foi possível fazendo a pesagem do mesmo através de uma balança digital com capacidade de 130 kg e precisão de 0,010g, ver Figura 23. Para estimar a quantidade de resíduo que era queimado na caldeira da usina de geração de energia foi realizada a pesagem das aparas, pois na conjuntura local esse resíduo é o único que é destinado como combustível para usina. O cálculo do resíduo pode ser sintetizado como sendo o balanço de massa que entra e que sai na madeireira (ver eq. 3), ou seja:

$$m_e = m_s \quad (3)$$

Onde:

$m_e$  = massa que entra;

$m_s$  = massa que sai

Como a massa que sai é a somatória das massas das tábuas, das aparas, das peças de vassouras e do pó gerado nas duas serras, dessa forma a massa que sai pode ser expressa por (ver eq. 4):

$$m_s = m_t + m_a + m_{pv} + m_{pó} \quad (4)$$

Onde,

$m_t$  = massa das tábuas;

$m_a$  = massa das aparas;

$m_{pv}$  = massa das peças de vassouras;

$m_{pó}$  = massa dos pó gerados nas serras

**Figura 22 - Pesagem do pó**



Fonte: Arquivo Pessoal

Para efeito de comparação de rendimento real com o rendimento ideal para o processo de desdobro, foi calculado teoricamente o rendimento do processo de desdobro. A seguir é mostrada a metodologia adotada para determinação dos valores teóricos da biomassa.

Anteriormente foi mencionado que foram realizadas medições das toras, das tábuas e das peças utilizadas para fabricação de vassouras, dessa forma é possível calcular o volume.

Então se fez necessário calcular massa específica da biomassa, para posteriormente calcular a massa para os diversos resíduos gerados no processo produtivo.

Para calcular a massa específica da biomassa foi utilizado como base o trabalho de Barbosa (2004), fez-se a utilização da norma ASTM E1757-01 para fazer a coleta das amostras. A massa específica será utilizada para calcular a massa de biomassa que posteriormente servirá para o cálculo do carbono fixado na madeira. O fator de carbono presente na biomassa foi encontrado através da análise elementar da mesma.

Análises laboratoriais das amostras foram feitas pelo laboratório de caracterização de biomassa - EBMA – UFPA, com o objetivo de levantar os valores de Poder Calorífico Superior (PCS), Poder Calorífico Inferior (PCI) (Nogueira et al., 2008), massa específica e teor de umidade, a Tabela 4 faz referência às normas utilizadas nas análises laboratoriais, ressaltando que para o cálculo da massa específica aparente foi necessário utilizar corpos de provas com dimensões conhecidas e padronizadas para cada espécie de madeira e respectivas cascas para obtermos o volume. Uma vez conhecido o volume fez-se a pesagem de cada corpo de prova, dessa forma relacionado massa e volume, foi obtida a massa específica aparente, ver Tabela 5. Para o cálculo do PCI, foi necessário obter o teor de hidrogênio em analisador elementar da Perk Elmer das referidas biomassas utilizadas pela comunidade, ver Tabela 6.

**Tabela 4- Normas utilizadas para análise em laboratório**

Tipo de análise	Norma
Amostragem e preparação das amostras	ASTM E1757-01
Teor de Umidade	ASTM E 871 - 82,
PCS	ASTM E 711-87

Fonte: Arquivo Pessoal

**Tabela 5 - Resultado Analises laboratório**

Biomassa	PCS (kJ/kg)	PCI (kJ/kg)	Massa específica (kg/m <sup>3</sup> )	Teor de Umidade (%)
Casca de Ananí	17827.39	16603.09	562,64	54,84
Casca de Virola	17831.58	16607.28	841,32	52,88
Madeira Anani	18945.27	17720.97	700,00	45,21
Madeira Virola	18338.18	17113.87	520,00	50,92

Fonte: Arquivo Pessoal

**Tabela 6 - Análise elementar**

<b>Propriedades</b>	<b>%C</b>	<b>%H</b>	<b>%N</b>	<b>%S</b>
Madeira Anani	46,37	6,16	7,375	0,745
Madeira Virola	45,555	6,26	4,033	0,665

Fonte: Arquivo Pessoal

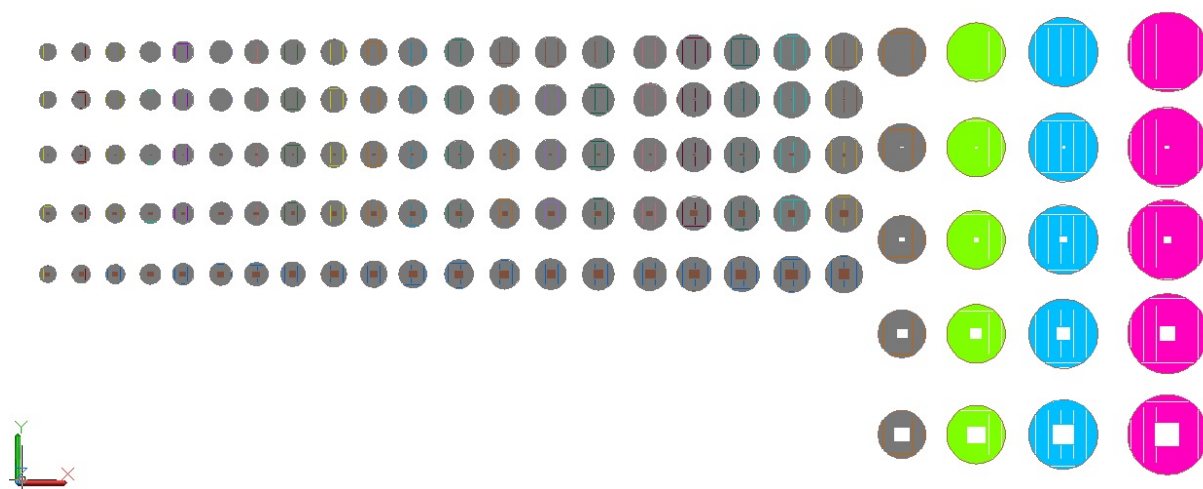
### 6.2.2.2 Medição teórica da biomassa

A medição teórica da biomassa que entra e que sai da madeireira foi realizada com a utilização do software Autocad®. O AutoCAD é um software do tipo CAD — *computer aided design* ou desenho auxiliado por computador - criado e comercializado pela Autodesk, Inc. desde 1982.

Para elaboração do desenho no CAD foi considerado a forma cilíndrica das toras, ou seja, as toras foram consideradas com o formato de um cilindro, uma vez que a conicidade das toras desdobradas no local de estudo estavam próximo do valor 1, ver anexo 3, isso significa que as toras desdobradas tinham quase o perfil de um cilindro, motivo tal que levou a adotar a forma de um cilindro para o cálculo teórico da biomassa.

Utilizando o autocad, inicialmente foi desenhado um cilindro para faixa de diâmetro de 25 a 130 cm, a escolha dessa faixa de diâmetro não foi realizada aleatoriamente, se deu pelo fato da limitação da serraria em desdobrar toras nessa faixa de diâmetro. Da mesma forma que levou a escolha da faixa de diâmetro para simulação, foram feitos desenhos de toras considerando que as mesmas tivessem de 5% a 30% de seu interior comprometido, ver Figura 24, uma vez que algumas toras que entram na serraria têm sua região central comprometida. Utilizando o comando “massprop” foi determinando o volume de cada tora e o volume aproveitado.

**Figura 23 - Desenho no autocad**



Fonte: Arquivo Pessoal

De posse de todas as informações referentes à quantificação do resíduo, a seguir são mostrados os métodos utilizados para o tratamento dos dados.

### **6.2.3 Métodos utilizados no tratamento dos dados**

Neste item é descrito a metodologia adotada para o cálculo de volume neste estudo. Segundo Girard (2005) a determinação do volume de uma árvore ou de partes da mesma é feita em amostras de árvores, onde são obtidos os dados básicos para o desenvolvimento das relações entre as dimensões da árvore e o seu volume.

As equações volumétricas são modelos matemáticos que tratam de explicar o comportamento da variável dependente, volume, com outros parâmetros, DAP e altura, que distribuídos nos eixos cartesianos dão a tendência da curva e que pode ser linear, polinomial ou exponencial.

HUSCH et al., (1972) desenvolveram estudo que consistiu na determinação do volume de toras por meio da aplicação das fórmulas de Newton, Smalian e Huber, e comparação dos valores determinados por deslocamento líquido. Os erros percentuais médios obtidos foram de aproximadamente 0% para a fórmula de Newton, 9% para a fórmula de Smalian e 3,5% a menos para a fórmula de Huber. Dessa forma foi considerado para este estudo o método de Smalian e Newton.

### 6.2.3.1 Método de Smalian

O método Smalian é uma metodologia de cubagem adotada pelo IBAMA. A fórmula de Smalian, ver eq. 5, é expressa a seguir:

$$V = \left( (A_1 + A_2) / 2 \right) \times L \quad (5)$$

Onde:

V = Volume da tora em metros cúbicos (m<sup>3</sup>);

A<sub>1</sub> = Área da extremidade menor em (m<sup>2</sup>);

A<sub>2</sub> = Área da extremidade maior em (m<sup>2</sup>), e

L = Comprimento da tora em metros (m).

### 6.2.3.2 Método de Newton

A fórmula de Newton, ver eq. 6, é expressa a seguir:

$$V = \left( (A_1 + 4A_m + A_2) / 6 \right) \times L \quad (6)$$

Onde:

V = Volume da tora em metros cúbicos (m<sup>3</sup>);

A<sub>1</sub> = Área da extremidade menor em (m<sup>2</sup>);

A<sub>m</sub> = Área transversal na metade do tronco (m<sup>2</sup>);

A<sub>2</sub> = Área da extremidade maior em (m<sup>2</sup>), e

L = Comprimento da tora em metros (m).

## 6.3 AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS



Para que possibilitasse a avaliação dos possíveis impactos ambientais gerado pelo processo produtivo local na comunidade de Santo Antônio, fez-se necessário o cálculo de emissão de carbono durante o processo produtivo e as emissões da área de exploração, fazendo assim um balanço geral das emissões. Para isso foram utilizadas diversas literaturas, considerando apenas a emissão do CO<sub>2</sub>, pois segundo o próprio IPCC é o gás que influencia para o aumento do efeito estufa, ver Tabela 1. A seguir será discutido com mais detalhe as metodologias e os valores adotados que possibilitaram a avaliação dos impactos ambientais.

### **6.3.1 Cálculo das emissões**

Para o cálculo das emissões na floresta, foram utilizadas diversas fontes de referências como: Fearnside et al.(2001) e Hirshiet al.(2004). Esses trabalhos foram publicados com dados voltados para floresta amazônica. Para as emissões dos combustíveis utilizados em algum momento do processo produtivo ou extração da madeira, foi utilizado como referência de cálculo o trabalho realizado por Moraes (2010).

O trabalho de Ferdisader (2001) buscou explicar a interação entre clima e floresta, o lugar das florestas amazônicas na definição de mudança climática “perigosa” e as controvérsias que cercam o papel em potencial dessas florestas na mitigação do efeito estufa.

Higushiet al.(2004) em seu estudo objetivou analisar a dinâmica de uma floresta primária da Amazônia Central, no período de 1986 a 2000, quanto aos aspectos de recrutamento, mortalidade e crescimento do povoamento florestal. Usando as estimativas desses parâmetros, foi possível entender o balanço do carbono da vegetação primária e saber se a floresta, nessas condições, está funcionando como fonte ou fixadora de carbono. Para atingir seu objetivo na pesquisa foram monitoradas três parcelas permanentes de um hectare cada, aplicando nessas áreas um experimento de manejo florestal. O autor chegou a conclusão no período observado do seu estudo que a acumulação (fixação na árvore) de carbono, foi de 16 toneladas métricas, dando um incremento periódico anual significativo ( $p = 0,039$ ), em torno de 1,2 t/ha/ano.

### 6.3.1.1 Cálculo da emissão de dióxido de carbono em motor a diesel

A emissão de CO<sub>2</sub> em um motor a diesel é relacionado com a potência e a carga aplicada sob o motor, como o foco deste trabalho não é o estudo específico de um motor utilizou-se a referência das emissões de CO<sub>2</sub> calculada por Moraes (2010). A seguir é comentada a metodologia adotada por Moraes (2010) para o cálculo da concentração do CO<sub>2</sub> no escape de um motor a diesel em seu trabalho

Mores (2010) considera que o equipamento analisador dos gases CMS-7, não mede a quantidade de CO<sub>2</sub> e de acordo com a literatura (COELHO, P. & COSTA, M.; 2007), quando os teores de CO e HC são pequenos quando comparados ao CO<sub>2</sub>, é necessário recalcular esses valores através da Equação 7, onde o CO<sub>2</sub>máx é obtido do cálculo do equilíbrio utilizando a composição em massa do combustível e a reação estequiométrica. Enquanto o O<sub>2</sub> medido é o teor de oxigênio nos gases de escape.

O trabalho de Moraes (2010) avaliou a análise elementar dos combustíveis utilizados para o teste de um motor a diesel, o resultado da análise elementar para os combustíveis ensaiados em seu trabalho estão na Tabela 4.

**Tabela 7 - Análise elementar dos combustíveis**

Propriedades	%C	%H	%N	%O	%S
Biodiesel	84,385	13,455	0	2,18	0
Óleo de palma	75,537	12,230	3,610	8,55	0
Diesel (B2)	85,80	13,50	0	0	0,7

Fonte: Moraes (2010)

Moraes (2010) utilizou essa composição elementar e a razão estequiométrica no programa COMGAS, que realiza o cálculo da composição dos gases no equilíbrio (ROCHA, H. Z.,2009), foi obtido os teores de CO<sub>2</sub>máx para cada combustível, conforme Tabela 5.

Aplicando a concentração de O<sub>2</sub> obtido nos gases de escape para os diversos ensaios, foi possível Moraes (2010) calcular do teor de CO<sub>2</sub> nesses gases utilizando a Equação 7.

$$CO_2 = CO_{2Max} \times \left(1 - \frac{O_2\ medido(\%)}{20.95\%}\right) \quad (7)$$

**Tabela 8 - Teor máximo de CO<sub>2</sub> obtidos das reações estequiométricas**

	CO <sub>2</sub> MÁX.
Diesel (B2)	13, 3736
Vegetal	11, 6566

Fonte: Moraes (2010)

Os dados de emissão calculados por Moraes (2010) serviu de base para o cálculo da emissão de CO<sub>2</sub> para o combustível utilizado no processo de exploração da madeira.

#### 6.3.1.1.1 Cálculo da razão de equivalência

A razão de equivalência no trabalho de Moraes (2010) foi calculada utilizando a Equação 8.

$$\Phi = \frac{m_c}{m_{ar}} \Big|_{st} \quad (8)$$

Onde  $m_c/m_{ar}$  é a relação da massa do combustível pela massa de ar e o denominador da equação é a mesma relação em condições estequiométricas.

## 6.4 INTERPRETAÇÃO

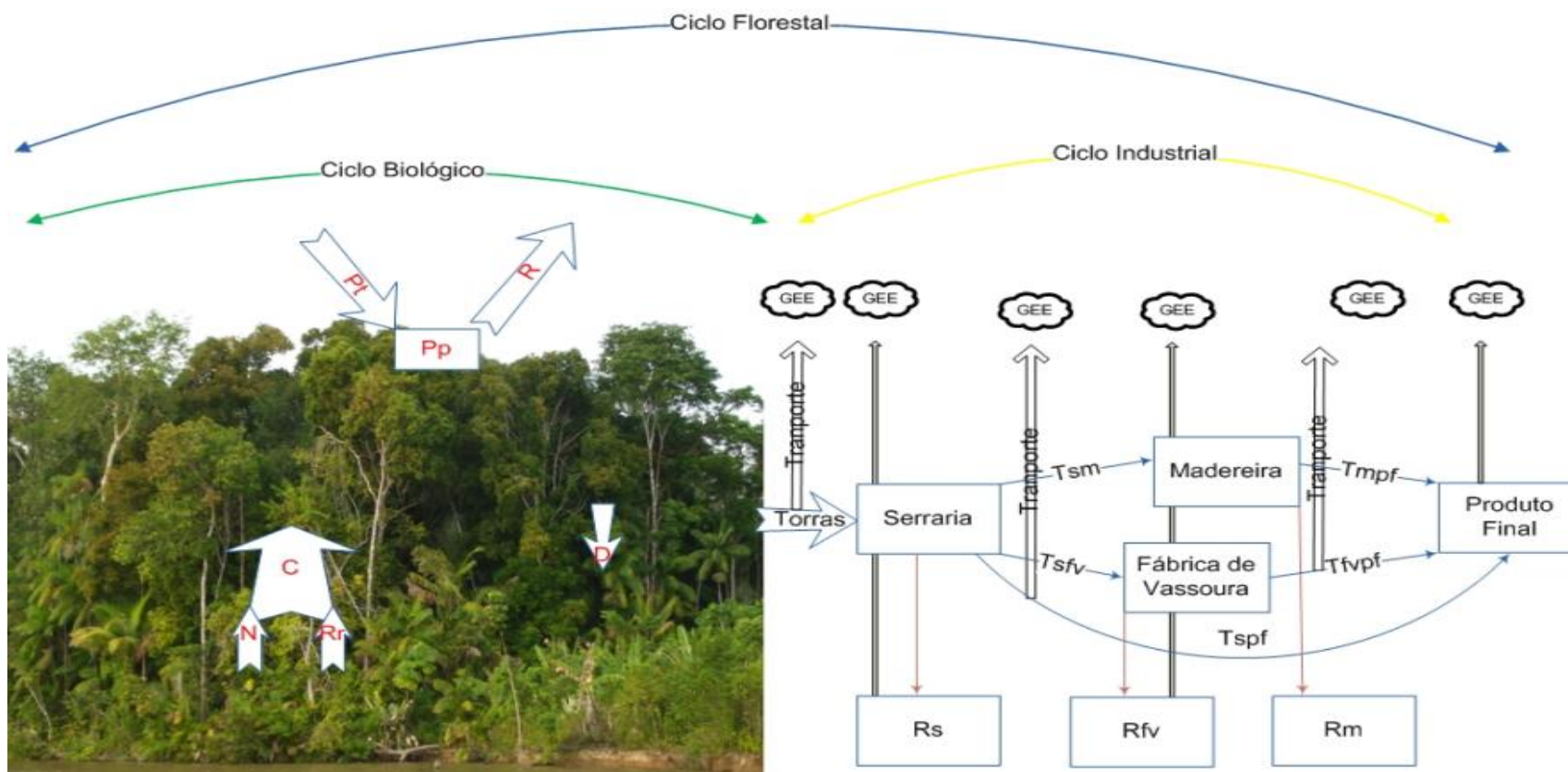
Para a interpretação deste estudo foi necessário desenvolver um modelo de ciclo de vida que estivesse de acordo com a realidade do local do estudo para que se pusesse compreender o fluxo de carbono. Assim com também foi necessário a implementação de um modelo que simulasse o balanço do carbono na conjuntura do estudo. Dessa forma baseando-se nos trabalhos como o de Gower (2003) e no conjunto de norma ISO 14040 foi desenvolvido o modelo do ciclo de vida para o carbono, ver Figura 25, voltado para realidade local.

A Figura 25 ilustra o ciclo de vida proposto por este trabalho, foram levadas em consideração as principais etapas requeridas em um processo de exploração tipicamente local. O ciclo florestal do carbono foi dividido em duas partes distintas, o Ciclo Biológico e o Ciclo Industrial.

O Ciclo Biológico é caracterizado pelo fluxo de carbono no solo(C) e a produção primária (Pp) e os detritos (D) provenientes das árvores (galhos, folhas e árvores mortas).

Enquanto o Ciclo Industrial engloba desde a saída da tora da floresta até seu destino final. Será levado em consideração a produção de resíduo (Rs) durante o processo de manufatura da madeira e a emissão dos gases do efeito estufa (GEE). Para o balanço de carbono foi considerado a produção de gases proveniente da energia demandada para o transporte nos diversos estágios da produção. (Tsm=transporte serraria-madeireira; Tsfv = transporte serraria- fabrica de vassoura; Tspf = transporte serraria – produto final e Tmpf = transporte madeireira produto final).

Figura 24 - Diagrama do Ciclo de vida para o carbono



Fonte: Arquivo Pessoal

Já com o modelo de ciclo de carbono previamente definido, o próximo passo para avaliar os possíveis impactos foi a criação de um modelo para poder simular o fluxo de carbono. Dessa forma foi utilizado o software Excel, a Figura 26 ilustra a tela de entrada de dados do modelo criado para fazer a simulação, esse modelo foi nomeado de MADE 0D.

Phillips et al., (1998) utilizou dados de inventários para calcular o estoque de carbono da floresta e concluiu que na floresta Amazônica foram acumulados  $0,62 (\pm 0,37)$  tC / ha / ano, esse valor foi utilizado para compor o balanço de carbono.

Novaes Filho (2007) cita o trabalho realizado por Melo (2003) um exemplo que estimou o estoque de carbono nos solos do tipo argissolos, do Estado do Acre, encontrando variações de 30,00 a 36,00 tC.ha<sup>-1</sup>, esse tipo de solo é o tipo mais comum encontrado na região do Marajó, esse valor não foi levando em consideração para simulações no MADE 0D.

Conforme apresentado por Tsukamoto Filho (2003), o percentual de carbono fixado na madeira é de 50% do peso da biomassa seca. Dessa forma adotou-se um fator de 0,5 para o cálculo da quantidade de C na madeira, no entanto para este estudo usou o fator de carbono encontrado na análise elementar. Na caracterização de biomassa obtivemos o valor médio de 655,99 kg/m<sup>3</sup> para massa específica, este serviu para o cálculo da massa de madeira que é transformada em produto final, ou seja, os produtos servirão como sumidouros de carbono.

A Figura 26 ilustra a tela geral de entrada de dados do MADE 0D a serem informados, onde seu resultado contempla uma captura de carbono pela floresta, área explorada pela madeireira, área requerida para exploração durante um ano e a área ideal para ser utilizada no manejo florestal em um tempo de 12 anos.

**Figura 25 - Tela de entradas dos dados necessários**

Dados a serem informados para iniciar o cálculo		
Dados de entrada	Consumo (mês)	Unidades
Combustível gasto no Trator		litros
Combustível gasto na empilhadeira		kilograma
Combustível gasto no Motorserra		litros
Combustível gasto no caminhão		litros
Combustível gasto no barco		litros
Combustível gasto na serraria		litros
Energia Elétrica utilizada		kWh
Quantidade de torra desdobrada		Unidade
Volume de madeira produzida		m3
Índice de aprovei. do desdobro		%

Fonte: Arquivo Pessoal

Observa-se na Figura 27, tal imagem ilustra a tela de resultados do MADE 0D, o item “**Emissão**” é o cálculo do CO<sub>2</sub> emitido, considerando a soma de todos os elementos emissores de CO<sub>2</sub> listado na tela de entrada de dados. O item “**Captura**” é composto por dois subitens: **Floresta Acima do Solo e Fixado – Madeira**. O primeiro corresponde ao carbono fixado pelas árvores remanescentes da área explorada, o segundo corresponde ao carbono absorvido na madeira que foi retirada da floresta e foi convertida em um produto. Foi criado o item **Balanco de C**, este resume apenas o carbono oriundo dos itens anteriores. O balanço de carbono é apresentado no item “**Resultado (kgC)**”, neste é mostrado o resultado da quantidade que está sendo capturada ou emitida, de acordo com o processo produtivo adotado pelas madeireiras.

No item “**Área Explorada**”, o cálculo foi considerado que o explorador ao entrar na floresta retira duas toras por hectare. No item “**Área Requerida**” mostra a área demandada pela madeireira para um ano de exploração. Enquanto no item “**Área de Manejo**” mostrará a área que a madeireira teria que ter para poder aplicar um manejo com um horizonte de 12 anos.

O item “**Resíduo gerado do processo Produtivo**” ilustra a quantidade de resíduo gerado no processo de exploração florestal. Esse cálculo foi levando em consideração o valor médio do volume das toras desdobradas no período de coleta de dados na comunidade de Santo Antônio, a eficiência do desdobro, a densidade da biomassa e o número de toras desdobradas.

Enquanto o item “**Potência Elétrica a gerar**” informa a quantidade de energia a ser gerada com o resíduo produzido pela madeireira.

Figura 26 - Tela de resultados

Emissões	Captura		Área Explorada	
	Floresta Acima do Solo	Fixado - Madeira	hectares	km2
kg de CO <sub>2</sub>	kgC/ha/mês	kgC/m <sup>3</sup>		
0	38858,81	0	0	0
Balanco C			Área Requerida	
0	38858,81	0,00	0	0
Resultado (kgC)			Área de manejo	
<b>38858,81</b>			<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Resíduo Gerado do Processo Produtivo (kg)</b>			<b>Potência Elétrica a Gerar (kW)</b>	
<b>0,00</b>			<b>0,00</b>	

Fonte: Arquivo Pessoal

## 7 RESULTADOS

Neste item são apresentados os resultados alcançados neste estudo, a Tabela 9 resume os resultados, seguindo a lógica do ciclo de vida.

**Tabela 9 - Resumo dos resultados**

<i>Etapas do ciclo de vida</i>	<i>Resultados Alcançados</i>
Definição do objetivo e Escopo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desenvolvimento de modelo de exploração florestal virtual (MADE0D) - fluxo de carbono e emissão de gases de efeito estufa;</li> <li>• Levantamento de dados (gases do efeito estufa)</li> </ul>
Análise do inventário	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definição do local de estudo;</li> <li>• Preparação e coleta dos dados;</li> <li>• Quantificação dos resíduos;</li> <li>• Cálculo da eficiência</li> <li>• Cálculo das emissões</li> </ul>
Avaliação de impactos ambientais	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gases do efeito estufa;</li> <li>• Geração de resíduo e</li> <li>• Balanço de carbono</li> </ul>
Interpretação	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Extração de recursos naturais;</li> <li>• Processamento de matérias-primas;</li> <li>• Produção, transporte e distribuição dos produtos;</li> <li>• Uso, reutilização, manutenção;</li> <li>• Reciclagem e destino final</li> </ul>

Fonte: Arquivo Pessoal

A seguir é apresentado mais detalhadamente os resultados e/ou comentários referentes aos resultados alcançados.

### 7.1 DEFINIÇÃO DO OBJETIVO E ESCOPO

#### 7.1.1 Desenvolvimento de modelo de exploração florestal virtual (MADE0D)

O modelo de exploração florestal virtual foi desenvolvido. As Figura 28 e Figura 29 ilustram a simulação feita para o estudo de caso realizado neste trabalho.



Pode ser observado que a área de manejo requerida por essa serraria, chega ser 3,4 vezes maior que o município de Ananindeua/Pa , considerando a dimensão de um campo de futebol de 120x90, a área de manejo correspondente seria de aproximadamente 58666,67 vezes um campo de futebol

**Figura 27 – Dados de entrada para Simulação para o cenário do estudo de caso**

Dados a serem informados para iniciar o cálculo		
Dados de entrada	Consumo (mês)	Unidades
Combustível gasto no Trator	0	litros
Combustível gasto na empilhadeira	0	kilograma
Combustível gasto no Motorserra	30	litros
Combustível gasto no caminhão	0	litros
Combustível gasto no barco	60	litros
Combustível gasto na serraria	150	litros
Energia Elétrica utilizada	0	kWh
Quantidade de torra desdobrada	880	Unidade
Volume de madeira produzida	50	m3
Índice de aprovei. do desdobro	34,00%	%

Fonte: Arquivo Pessoal

É interessante observar que a quantidade por dia de resíduo gerado (2110,85 kg) poderia gerar 1246,82 kW de potencia elétrica para a comunidade de Santo Antônio.

**Figura 28 – Resultados para simulação para o cenário do estudo de caso**

Emissões	Captura		Área Explorada	
	Floresta Acima do Solo	Fixado - Madeira	hectares	km2
kg de CO2	kgC/ha/mês	kgC/m3		
616,96871	40098,81	15743,76	440	4,4
Balanço C			Área Requerida	
-616,9687	40098,81	15743,76	5280	52,8
Resultado (kgC)			Área de manejo	
<b>55225,60</b>			<b>63360</b>	<b>633,6</b>
<b>Resíduo Gerado do Processo Produtivo (kg)</b>			<b>Potência Elétrica a Gerar (kW)</b>	
<b>63325,46</b>			<b>1246,82</b>	

Fonte: Arquivo Pessoal

### 7.1.2 Levantamento de dados (gases do efeito estufa)

Durante o período de pesquisa foi levantado as possíveis emissões dos gases do efeito estufa. No item 2.4 é feita uma abordagem dos gases que influência no agravamento do

efeito estufa.  $\text{CO}_2$  é o gás que mais influencia para tal circunstância dessa forma ele foi o gás levado em consideração neste estudo.

## 7.2 ANÁLISE DO INVENTÁRIO

### 7.2.1 Definição do local de estudo

O estudo foi realizado na Comunidade de Santo Antônio, Figura 28, conforme já discutido no item 4.1.2.

**Figura 29 - Vista da Comunidade de Santo Antônio**



Fonte: Arquivo Pessoal

### 7.2.2 Preparação e coleta dos dados

A preparação e coleta dos dados foram comentados no item 4.2.2.1 e os resultados desses dados referente ao levantamento são encontrados nos anexos 1 e 5.

### 7.2.3 Quantificação dos resíduos

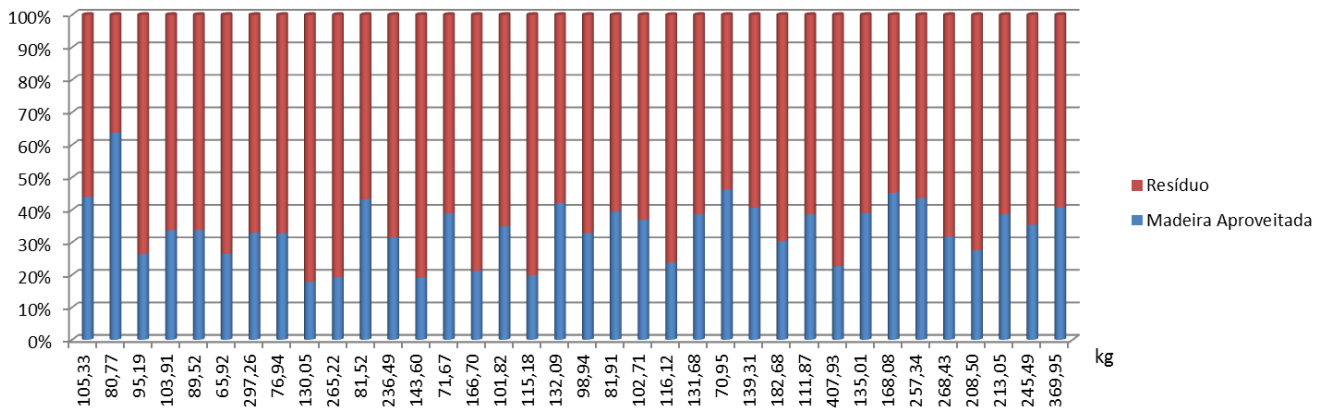
A quantificação do resíduo gerado na serraria pode ser apreciado no anexo 4. Durante o período de estudo foram realizadas diversas medições, mas para efeito de cálculo

foram utilizados dados de um dia relativamente normal para a comunidade, ou seja, não houve nenhum fato que possibilitasse a parada da serraria.

#### 7.2.4 Cálculo da eficiência

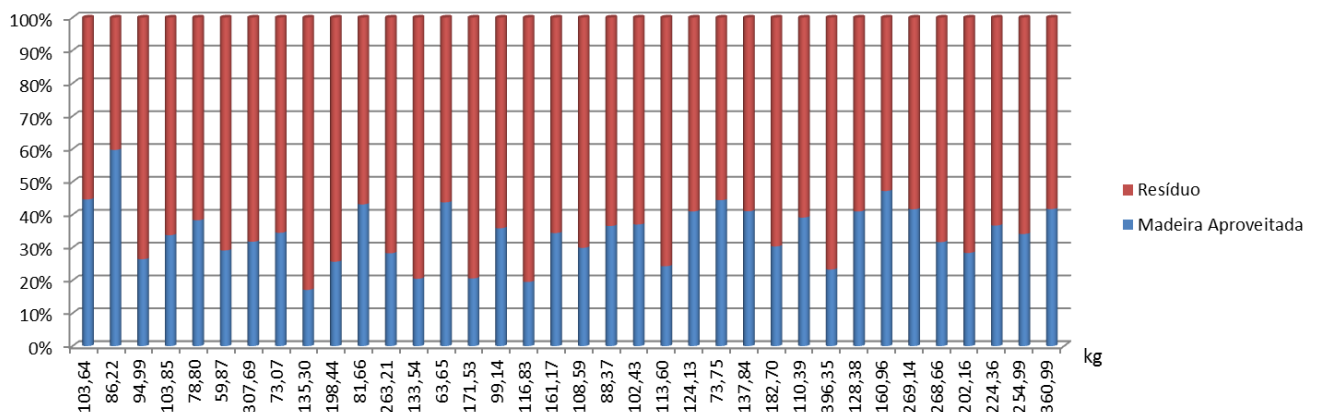
De acordo com os dados obtidos, ver anexo 5, o índice de aproveitamento geral da serraria instalada na comunidade de Santo Antônio é cerca de 34%. Conforme os métodos discutidos para o cálculo de volume no item 4.2.2, o rendimento pelo método de Newton é de 34,25%, o rendimento de cada tora desdobrada é ilustrado na Figura 31. Enquanto o rendimento de acordo com o método de Smalian é de 34,35%, a Figura 32 ilustra o rendimento de cada tora.

Figura 30 - Método de Newton



Fonte: Arquivo Pessoal

Figura 31 - Método de Smalian



Fonte: Arquivo Pessoal

Comparando os resultados originados pela aplicação dos métodos de Newton e Smalian, podemos observar uma diferença de aproximadamente 1,54% entre os métodos.

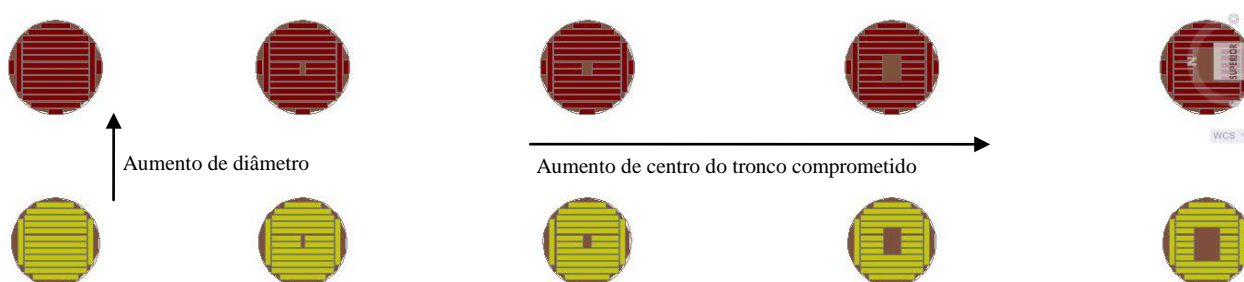
O índice geral de aproveitamento da serraria é de 34% o que representa 20,28% menor do que o rendimento estabelecido pelo IBAMA.

Já conhecemos o rendimento real da serraria, no item a seguir será discutido o rendimento teórico, considerando a cubagem ideal da madeira.

#### 7.2.4.1 Correlações empíricas dos índices de aproveitamento de matéria (geração de resíduos) do sistema produtivo

Foram feitos os cálculos teóricos para a cubagem do desdobro da madeira utilizando o Software Autocad,. A Figura 33 ilustra a variação do diâmetro e o incremento do comprometimento do centro de cada tora, no anexo 6 está o desenho em cad (arquivo dwg) que possibilitou a realização dos cálculos teóricos do volume, ver anexo 7 o resultado do cálculo do volume teórico. Foi repetido esse procedimento para o intervalo de 25 a 130 cm de diâmetro, respeitando a limitação do processo produtivo do estudo.

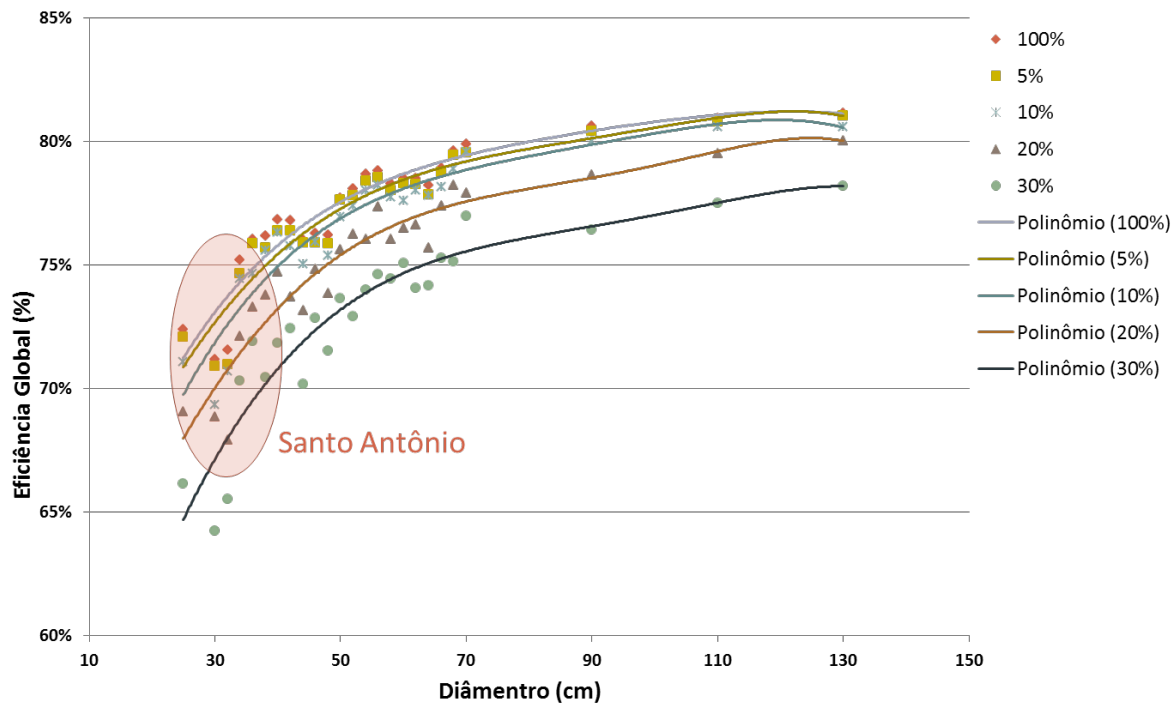
**Figura 32 – Esquema de variação do diâmetro e parte central comprometida das toras**



Fonte: Arquivo Pessoal

A Figura 34 ilustra o gráfico do comportamento do rendimento teórico para o intervalo de 25 a 130 cm do diâmetro da tora. Observa-se que as curvas de tendência têm um comportamento padrão, aumentando o diâmetro aumenta a eficiência do desdobro, e aumentando a parte central comprometida diminui a eficiência do desdobro.

Figura 33 - Rendimento teórico



Fonte: Arquivo Pessoal

### 7.2.5 Cálculo das emissões

Conforme discutido no item 2.4, o  $\text{CO}_2$  é o gás que tem a maior influência para o efeito estufa, dessa forma utilizando a metodologia explicada no item 4.3.1 encontrou-se os valores de emissão de  $\text{CO}_2$  para os combustíveis utilizados no processo produtivo, ver Tabela 10.

Tabela 10 – Emissão de  $\text{CO}_2$  (kg)

Combustível	Emissão de $\text{CO}_2$ (kg)
Gasolina	2,324906
Diesel B2	2,605816

Fonte: Arquivo Pessoal

## 7.3 AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS

### 7.3.1 Gases do efeito estufa

O aumento do efeito estufa não ficou comprovado uma vez que para tal cenário a floresta explorada captura aproximadamente 40 tCO<sub>2</sub>/mês (Ciclo Vegetal), enquanto a madeira que é processada e vendida como produto final fixa aproximadamente 15 tCO<sub>2</sub>/mês (ciclo Industrial). A Figura 28 e Figura 29 ilustram a simulação feita para o estudo de caso realizado neste trabalho, ou seja, na comunidade de Santo Antônio, é interessante observar que para esse cenário não houve perturbação tão agravante ao meio ambiente, houve um incremento de carbono na floresta, isso significa que a floresta está sendo um sumidouro de CO<sub>2</sub>.

### 7.3.2 Geração de resíduo

Entra na serraria um volume de 8,6421 m<sup>3</sup> de madeira em forma de tora (36 toras), o que representa uma massa 5669,13 kg (massa específica: 655,99 kg/m<sup>3</sup>), O aproveitamento da serraria é aproximadamente 34%, o que nos representa 2,9383 m<sup>3</sup> de volume de madeira comercializável, dessa forma 5,7038 m<sup>3</sup> é resíduo gerado no processo produtivo. Com a pesagem do pó gerado nas serras chegou-se a conclusão que este tipo de resíduo representa 29% do resíduo gerado.

### 7.3.3 Balanço de carbono

O balanço do carbono foi sintetizado com sendo a soma do ciclo biológico e do ciclo industrial, ver Figura 25. A partir do ciclo de carbono implementado no item 4.4, pode saber se o processo está contribuindo para o aumento do efeito estufa. O que ficou comprovado que não, pois mesmo com o processo de exploração ainda sobra um saldo positivo no balanço de carbono, 55 tC é absorvido no processo, ver Figura 29.

## 7.4 INTERPRETAÇÃO

### 7.4.1 Extração de recursos naturais

Com o desenvolvimento deste trabalho ficou constatado que a forma atual de exploração florestal utilizado pela maioria das serrarias encontradas no estuário do Rio Amazonas, é realizada sem o mínimo conhecimento de Manejo florestal. Vale ressaltar que a maioria das serrarias não tem licença ambiental espedida pelo IBAMA, para explorar a floresta, que na maioria exploram áreas de propriedade da União.

Como sugestão para um plano de Manejo, o plano implantado pela Fundação Floresta Tropical (FFT) é recomendado, o trabalho da FET tem como título Manejo Florestal Sustentável e Exploração de Impacto Reduzido na Amazônia Brasileira, podendo se facilmente encontrado no site da fundação.

### 7.4.2 Processamento de matérias-primas

O processamento da matéria prima (desdobro de madeira) é empírico, parental e tradicional, o que implica na falta de técnica apropriada, visando um maior aproveitamento da matéria prima e aumentando a rentabilidade do processo. É recomendado que se investisse no treinamento e qualificação dos operadores de equipamentos.

### 7.4.3 Produção, transporte e distribuição dos produtos

A produção desse sistema é bem tradicional, onde a força física dos trabalhadores que movem o sistema de produção, ver Figura 35, baixo conhecimento, e falta de técnicas implicam na baixa eficiência do processo, 34%. Implicando em uma baixa renda. Do transporte à distribuição são atividades artesanais. A melhoria do sistema de cubagem das toras visando ampliar a eficiência do processo de beneficiamento da madeira seria uma alternativa para aumentar a eficiência do processo, bem como a padronização das dimensões durante o processo de produção com vista a minimizar as perdas (resíduos) e agregar, assim, valor econômico com a melhoria dos produtos comercializados.

**Figura 34- Processo de Produção**



Fonte: Arquivo Pessoal

#### **7.4.4 Uso, reutilização, manutenção**

O uso dos resíduos gerados como fonte para gerar energia é uma ótima alternativa para o sistema local, uma vez que o resíduo gerado era queimado a céu aberto, utilizados para construção de diques para evitar que assim que águas da maré invadissem a ilha, utilizavam como aterro ou mesmo jogavam no rio para que o mesmo levasse rio abaixo.

#### **7.4.5 Reciclagem e destino final**

Se todo o resíduo gerado no processo produtivo fosse utilizado para gerar energia, considerando os resíduos pó e as aparas (3741,63kg) gerariam em torno de 70 kWe, com a usina operando 8h dias. Essa demanda seria mais que ideal para a Comunidade, uma vez que a demanda média da potência na comunidade é de 40kWe. Possibilitando assim uma ampliação de renda e sustentabilidade para os moradores da comunidade.



## 8 CONCLUSÕES

O modelo MADE 0D desenvolvido neste trabalho especificamente para avaliar os fluxos de biomassa e carbono em madeiras de comunidades isoladas da região amazônica mostrou-se uma ferramenta eficaz e válida para as condições locais. É de fácil aplicação, requer poucos recursos e os resultados se mostraram como indicadores ambientais, a maior dificuldade em sua utilização é quanto à alimentação do modelo com dados que precisem ser obtidos in loco. Entretanto, como foi aplicado para o estudo de caso de apenas uma madeira, seria interessante sua aplicação nas diversas madeiras que compartilham a mesma área de exploração para que uma avaliação global fosse determinada e um aprimoramento e validação do método fossem permitidos. Contudo, neste trabalho foi possível reunir condições para aplicar o modelo de forma isolada, em um único caso. .

A Análise de Ciclo de Vida, normalizada segundo a ISO 14040, é uma ferramenta fundamental para atender ao modelo, permitiu avaliar os impactos ambientais nas várias etapas do processo, contemplando as condições desde a exploração até o produto final e forneceu as entradas e saídas separadamente, o que subsidiou as análises pormenorizadas de todas as emissões, os resíduos que são empregados para a geração de energia e o balanço de carbono que são os focos principais da pesquisa. Por ser normalizada, as rotinas estão estabelecidas facilitando o uso, a dificuldade encontrada foi o levantamento de dados devido a ausência de informações próprias da região.

O modelo mostrou que a exploração da floresta está sendo feita sem manejo florestal, mostrando que ainda são necessários esforços para que a exploração seja sustentável. Todo processo produtivo é empírico, parental e tradicional, por consequência o rendimento médio obtido para a serraria avaliada foi de 34%, comprovando que não há preocupação por parte do explorador com a eficiência no beneficiamento da madeira. Enquanto que se o processo fosse otimizado melhoraria significativamente a produtividade da serraria, podendo até superar o índice de eficiência estipulados pelo IBAMA, onde o rendimento do desdobro de toras estabelecido é de 54,28%. De acordo com a simulação teórica realizada neste trabalho essa eficiência pode chegar ao mínimo em 67% e no máximo em 76%. Dessa forma, como consequência haverá uma diminuição da área explorada e um aumento na produção. Para atingir estas metas são necessárias tomar medidas como qualificação, treinamento,

melhoramento da estrutura do processo de beneficiamento e investimento em maquinários mais eficientes..

Outro fato relevante detectado é a área de exploração que está diminuindo com o passar dos anos, onde diversas serrarias compartilham a mesma área de exploração, sem a utilização das técnicas de manejo para explorar essas áreas. Conforme mostrado no trabalho, para suprir a demanda de toras de árvores de uma pequena serraria é necessária uma área de 633,6 km<sup>2</sup>. Se esse tipo de exploração for continuado, a floresta e conseqüentemente o planeta sofrerão mudanças significativas uma vez que não se sabe como a natureza irá responder a essa forma de exploração com os passar do tempo, mas sabemos que isso pode implicar em um desequilíbrio natural.

Um ponto positivo notado é que um processo produtivo pequeno, como a serraria estudada, praticamente não contribui para o aumento do efeito estufa. Ficou demonstrado que a floresta capta em torno de 40tC/mês, enquanto a madeira retirada da floresta, que é vendida como produto final, fixa em torno de 15tC/mês. Isso indica que esse processo produtivo não é nocivo ao meio ambiente. Considerando que o processo não está contribuindo com o aumento do CO<sub>2</sub> na atmosfera terrestre, no entanto vale ressaltar que esse estudo contemplou apenas uma pequena serraria. É interessante a continuidade do estudo com o levantamento de dados in loco de todas as serrarias em funcionamento na área estuarina, para possibilitar a realização do balanço global da exploração dessa região.

Outro ponto positivo constatado, é a potencialidade para geração de energia elétrica com o resíduo gerado por essa configuração de sistema produtivo, que corresponde atualmente a 66% de toda madeira em tora que entra na linha de produção. Este quantitativo de resíduo possibilitaria geração de energia de 1246,82kW para comunidades isoladas, gerando uma série de vantagens para essas comunidades. Entretanto, cabe notar que o aumento da eficiência como foi comentado anteriormente irá gerar menos resíduos com potencial energético. Comumente os resíduos produzidos nas serrarias, frequentemente são queimados a céu aberto, e poderiam ser aproveitados como fonte alternativa de energia, uma vez que a maioria das comunidades amazônicas que exploram a floresta, utilizam diesel para gerar energia há um alto custo.

O ser humano necessita da floresta, seja com fonte de alimento, de matéria prima ou como agente regulador do clima. Dessa forma deve-se buscar a harmonia entre a floresta e o ser humano. Comumente as avaliações dos impactos ambientais são realizadas pontualmente

no local da unidade de geração de energia. Entretanto, os impactos negativos são gerados em toda cadeia produtiva, e que por isto deve ser considerada, o que exige mudanças de visão e das formas de avaliar passando-se a empregar ferramentas mais apropriadas como o MADE e a ACV.

## **SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

- 1- Levantamento detalhado e atualizado das serrarias existente na área do Marajó, incluindo a produção e destino do resíduo por elas produzido e sua caracterização.
- 2- Estudar a possibilidade de se montar uma usina de geração de energia que utilize o resíduo oriundo das serrarias em operação.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISSO 14040**: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. 2009.

AIMEX –Associação das Indústrias Exportadoras de Madeira do Estado do Pará. Disponível em: < <http://www.aimex.com.br>>.

ALLEY, R. *et al.* Contribuição do Grupo de Trabalho I para o Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças do Clima: Sumário para os Formuladores de Políticas. 26 abr. 2007. Disponível em: <[http://www.cptec.inpe.br/mudancas\\_climaticas](http://www.cptec.inpe.br/mudancas_climaticas)>.

ALMEIDA, Samuel Soares de; AMARAL, Dário Dantas do; SILVA, Antonio Sérgio Lima da. Análise Florística e Estrutura de Florestas de Várzea no Estuário Amazônico. **Acta Amaz.** [online]. 2004, v.34, n.4, p. 513-524. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/aa/v34n4/v34n4a05.pdf>>.

BAKER, T.R. *et al.* Variation in wood density determines spatial patterns in Amazonian forest biomass. **Global Change Biology**. v. 10, p. 545-562, 2004.

BARBOSA, Reinaldo Imbrozio; FERREIRA, Carlos Alberto Cid. Densidade básica da madeira de um ecossistema de "campina" em Roraima, Amazônia brasileira. **Acta Amaz.** [online]. 2004, v.34, n.4, p. 587-591.

BARROS, A.C.; Uhl, C. Logging along the Amazon river and estuary: patterns, problems and potential. **Forest Ecology and Management**. n. 77.p. 87-105, 1995.

BIASI, C.; ROCHA, M. Rendimento em Madeira Serrada e Quantificação de Resíduos para Três Espécies Tropicais. Floresta, América do Norte. 37f. mai. 2007. Disponível em: <<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/floresta/article/view/7845>>.

BOUSTEAD, I.; HANCOCK, G.F. **Handbook of industrial energy analysis**. [s.l.]: Ellis Horwood, 1979. p.422.

CANES, Suzy Elizabeth Pinheiro. **Potencial Bioenergético**: uma abordagem da geração de energia elétrica utilizando casca-de-arroz e resíduos da madeira através do estudo de caso. Dissertação (Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Área de Concentração em Qualidade e Produtividade)- da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM,RS), 2005. 79f. Disponível em: <<http://www.cipedya.com/web/FileDownload.aspx?IDFile=161367>>.

CHAVE, J. *et al.* Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. **Jornal Oecologia** 2005. n. 145, p.87-99.

CHEHEBE, J. R.. **Análise do Ciclo de Vida dos Produtos**: ferramenta gerencial da ISO 14000. Rio de Janeiro: Qualitymark. 1998. 104 p.

CONSOLI, F. *et al.* Guidelines for Life-cycle assessmet: a code of practice: from the SETAC Workshop held Sesimbra, Portugal, 31 mar.; 3 Apr., 1993.

COSTA, Marcos Heil. *et al.* . Estado-da-arte da simulação da taxa de fixação de carbono de ecossistemas tropicais. **Rev. bras. meteorol.** São Paulo, v. 24, n. 2, jun. 2009. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0102-77862009000200007&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-77862009000200007&lng=pt&nrm=iso).

CUNHA, C.B; GALVÃO Jr., F. A. Modelagem matemática do problema de coleta de resíduos de biomassa de madeira para fins energéticos. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, 16, Natal, 2002. **Anais**. Rio de Janeiro: ANPET, 2002. v. 2, p.81.

GRUPO DE ENERGIA BIOMASSA E MEIO AMBIENTE -EBMA. Projeto Marajó: “Implantação de uma Unidade de Geração de Energia Elétrica a Partir da Queima de Biomassa Acoplada a uma Usina de Extração de Óleo Vegetal, Fábrica de Gelo e Câmara Frigorífica Numa Comunidade Isolada Na Ilha Do Marajó”. Belém: UFPA, 2007.

FEARNSIDE, Philip M. Greenhouse Gases from Deforestation in Brazilian Amazonia: Net committed emissions. **National Institute for Research in the Amazon-INPA**. Manaus, Amazonas; Brazil. 1997. 40 p.

FONTES, P. J. P. **Auto-suficiência energética em serraria de Pinus e aproveitamento dos resíduos**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba 1994.

GIRARD, E. A. **Volume, biomassa e rendimento de óleos essenciais do craveiro (Pimenta pseudocaryophyllus (Gomes) Landrum) em Floresta Ombrófila Mista**. 2005.72 p. Dissertação (mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2005.

GOWER, Stith T. **Patterns and Mechanisms of the Forest Carbon Cycle**. Department of Forest Ecology and Management. Madison; Wisconsin: University of Wisconsin, 2003.40 p.

HECHT, S.B.; COCKBURN, A. **Fate of the Forest**: Developers, Destroyers and Defenders of the Amazon. New York: Verso. 1989.

HIGUCHI, N. *et al.* Crescimento e incremento de uma floresta amazônica de terra-firme manejada experimentalmente. **BIONTE Relatório Final**. Manaus: INPA/DIFID. 1997.

HIGUCHI, N. Utilização e Manejo dos Recursos Madeireiros das Florestas Tropicais Úmidas. **Acta Amazonica**, v. 24. n.(3-4). p .275-288, 1994.

HOUGHTON, R.A.; LAWRENCE, K.T.; HACKLER, J.L.; BROWN, S. The spatial distribution of forest biomass in the Brazilian Amazon: a comparison of estimates. **Global Change Biology**. v. 7. p. 731-746, 2001.

HOUGHTON, R.A. Revised estimates of the annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land use and land management 1850-2000. [s.l.]: **Chemical and Physical Meteorology**, 2003, n. 55. p. 378-390. (Tellus Series B).

HOUGHTON, R.A. Aboveground forest biomass and the global carbon balance. **Global Change Biology**. n.11. p.945-958, 2005.

HUSCH, B.; MILLER, C. I.; Beers, T. W. **Forest mensuration**. 2.ed. New York: John Willey & Sons, 1972. 410 p.

HUTCHINSON, I.D. The management of humid tropical forest to produce wood. In: PROCEEDINGS OF A CONFERENCE .Management of the forest of tropical america: prospects and tecnologies. Puerto Rico: Institute of Tropical Forestry. p.121-156, 1986.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS- IBAMA. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/>>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA- IBGE. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: set. 2009.

IPCC - Quarto Relatório de Avaliação das Mudanças Climáticas do planeta, chamado de IPCC-AR4, 2007.

JYRI, Seppälä. *et al.* Forest industry and the environment: a life cycle assessment study from Finland. In: **Journal Resources, Conservation and Recycling**. v.23. 1998. n. 19. p.87-105. Disponível em : <<http://www.sciencedirect.com/science/article/B6VDX-3T3SSK4-6/2/65c8a4f590787a61cd6565089f59574099>>.

KNEBEL, Almiro José. Eficiência Energética no Segmento Empresarial: um enfoque a mitigação de gases de efeito estufa. 2003. Dissertação (mestrado em Engenharia Elétrica)- Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2003.

MALHI, Y. *et al.* The regional variation of aboveground live biomass in old-growth Amazonian forests. **Journal Global Change Biology**, n.12. p. 1107-1138, 2006.

MARIALVA, E. A. *et al.* Análise da Eficiência de uma Planta Piloto de Geração de Energia Elétrica Utilizando Biomassa. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA, 2008, Salvador. **Anais...** Salvador: Engenharia e Inovação para o Desenvolvimento Sustentável, 2008. 8f.

MORAES, Sinfrônio Brito. Geração de Energia Elétrica em Comunidades Isoladas da Amazônia Utilizando Óleo de Palma in Natura. . 2010. 95 p. Tese (Engenharia Elétrica)-Universidade Federal do Pará. Belém, 2010.

MURARA JUNIOR, Mauro Itamar. Desdobro de toras de Pinus Utilizado Diagramas de Corte para Diferentes Classes Diamétricas. Curitiba. 2005. 77 p.

NEPSTAD, D. C. *et al.* The role of deep roots in the hydrologic and carbon cycles of Amazonian forest and pastures. *Nature* 1994372 p.666-669.

NOBRE, Carlos A.; NOBRE, Antônio D. O balanço de carbono da Amazônia brasileira. São Paulo: Estud. av. v. 16, n. 45p, ago. 2002. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-40142002000200006&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142002000200006&lng=pt&nrm=iso)>.

NOGUEIRA, E. M. *et al.* Wood density in forests of Brazil's 'arc of deforestation': Implications for biomass and flux of carbon from land-use change in Amazonia. **Journal Forest Ecology and Management**, n. 248. p. 119-135, 2007.

NOGUEIRA, E.M.; FEARNSSIDE, P.M.; NELSON, B.W. Submetido Linear regressions for normalization of wood density in biomass estimates of Amazon forests. Nogueira, E.M.; Nelson, B.W.; Fearnside, P.M. 2005. Wood density in dense forest in central Amazonia, Brazil. **Journal Forest Ecology and Management**, n. 208.p. 261-286.

NOGUEIRA, M. F. M. *et al.* **Combustão e Gasificação de Biomassa Sólida**. 1. ed. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2008. v. 1. 190 p.

NUMAZAWA, S. *et al.* Residue of Wood Industry: Characterization, Consequences About Environment and Alternative Use. **Journal: Holos Environment**. v.6. 2006. 12p.8-21.

PANAYOTOU, T.; Ashton, P.S. **Not by timber Alone: Economics and Ecology for sustaining Tropical Forests**. Washington, D.C. : Island Press, 1992. 281p.

SILVA, E.J.V. **Impactos da exploração madeireira predatória e com manejo florestal sobre o crescimento e diversidade de espécies arbóreas na Amazônia Oriental**.



Piracicaba. 1998, 83 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1998.

VERÍSSIMO, A.; LIMA, E.; LENTINI, M. Pólos Madeireiros do Estado do Pará. Belém: **Imazon**. 2002. 75p.

VERÍSSIMO, A.; LIMA, E. Pólos Madeireiros da Amazônia Legal. **Relatório Interno**. Belém: Imazon. 1998. 80p.

VERÍSSIMO, A. *et al.* Zoning of timber extraction in the Brazilian Amazon: A test case using Pará State. **Conservation Biology**, v.12. n. (1). p.1-10, 1998.

VIDAL, E. **Redução de desperdícios na Produção de Madeira na Amazônia**. [Belém]: Imazon, 1997. (Série Amazônica, n. 5).

VIDAL, E.; VIANA, V.; BATISTA, J. F. L. Crescimento de floresta tropical três anos após colheita de madeira com e sem manejo florestal na Amazônia oriental. **Journal Scientia Forestales**. v. 6, p. 133-143, Jun. 2002.

VIDAL, E.; VIANA, V.; BATISTA, J.L.F. Efeitos da exploração madeireira predatória e manejada sobre a diversidade de espécies na Amazônia Oriental. **Revista Árvore**. v. 4 .n. 22, p. 503-520, 1998.

WENZEL. H.; HAUSCHILD, M.; ALTING, L. **Environmental assessment of products**. Bontong;Dordrecht;London: Kluwer Academic Publisehrs. v.1. n.2. 1997.

WIKIPÉDIA (2009). Wikipédia, disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/>>. Acessado em: 26 set. 2009.

## **ANEXOS**

Anexo 1 – ISO 14040:2006

---

---

**Environmental management — Life cycle  
assessment — Principles and framework**

*Management environnemental — Analyse du cycle de vie — Principes  
et cadre*



**PDF disclaimer**

This PDF file may contain embedded typefaces. In accordance with Adobe's licensing policy, this file may be printed or viewed but shall not be edited unless the typefaces which are embedded are licensed to and installed on the computer performing the editing. In downloading this file, parties accept therein the responsibility of not infringing Adobe's licensing policy. The ISO Central Secretariat accepts no liability in this area.

Adobe is a trademark of Adobe Systems Incorporated.

Details of the software products used to create this PDF file can be found in the General Info relative to the file; the PDF-creation parameters were optimized for printing. Every care has been taken to ensure that the file is suitable for use by ISO member bodies. In the unlikely event that a problem relating to it is found, please inform the Central Secretariat at the address given below.

© ISO 2006

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either ISO at the address below or ISO's member body in the country of the requester.

ISO copyright office  
Case postale 56 • CH-1211 Geneva 20  
Tel. + 41 22 749 01 11  
Fax + 41 22 749 09 47  
E-mail [copyright@iso.org](mailto:copyright@iso.org)  
Web [www.iso.org](http://www.iso.org)

Published in Switzerland

# Contents

Page

Foreword.....	iv
Introduction .....	v
1 Scope .....	1
2 Normative references .....	1
3 Terms and definitions.....	1
4 General description of life cycle assessment (LCA).....	6
4.1 Principles of LCA.....	6
4.2 Phases of an LCA .....	7
4.3 Key features of an LCA .....	8
4.4 General concepts of product systems .....	9
5 Methodological framework .....	11
5.1 General requirements.....	11
5.2 Goal and scope definition.....	11
5.3 Life cycle inventory analysis (LCI).....	13
5.4 Life cycle impact assessment (LCIA) .....	14
5.5 Life cycle interpretation .....	16
6 Reporting .....	16
7 Critical review.....	17
7.1 General.....	17
7.2 Need for critical review.....	17
7.3 Critical review processes.....	17
Annex A (informative) Application of LCA.....	18
Bibliography .....	20

## Foreword

ISO (the International Organization for Standardization) is a worldwide federation of national standards bodies (ISO member bodies). The work of preparing International Standards is normally carried out through ISO technical committees. Each member body interested in a subject for which a technical committee has been established has the right to be represented on that committee. International organizations, governmental and non-governmental, in liaison with ISO, also take part in the work. ISO collaborates closely with the International Electrotechnical Commission (IEC) on all matters of electrotechnical standardization.

International Standards are drafted in accordance with the rules given in the ISO/IEC Directives, Part 2.

The main task of technical committees is to prepare International Standards. Draft International Standards adopted by the technical committees are circulated to the member bodies for voting. Publication as an International Standard requires approval by at least 75 % of the member bodies casting a vote.

Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this document may be the subject of patent rights. ISO shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

ISO 14040 was prepared by Technical Committee ISO/TC 207, *Environmental management*, Subcommittee SC 5, *Life cycle assessment*.

This second edition of ISO 14040, together with ISO 14044:2006, cancels and replaces ISO 14040:1997, ISO 14041:1998, ISO 14042:2000 and ISO 14043:2000, which have been technically revised.

## Introduction

The increased awareness of the importance of environmental protection, and the possible impacts associated with products <sup>1)</sup>, both manufactured and consumed, has increased interest in the development of methods to better understand and address these impacts. One of the techniques being developed for this purpose is life cycle assessment (LCA).

LCA can assist in

- identifying opportunities to improve the environmental performance of products at various points in their life cycle,
- informing decision-makers in industry, government or non-government organizations (e.g. for the purpose of strategic planning, priority setting, product or process design or redesign),
- the selection of relevant indicators of environmental performance, including measurement techniques, and
- marketing (e.g. implementing an ecolabelling scheme, making an environmental claim, or producing an environmental product declaration).

For practitioners of LCA, ISO 14044 details the requirements for conducting an LCA.

LCA addresses the environmental aspects and potential environmental impacts <sup>2)</sup> (e.g. use of resources and the environmental consequences of releases) throughout a product's life cycle from raw material acquisition through production, use, end-of-life treatment, recycling and final disposal (i.e. cradle-to-grave).

There are four phases in an LCA study:

- a) the goal and scope definition phase,
- b) the inventory analysis phase,
- c) the impact assessment phase, and
- d) the interpretation phase.

The scope, including the system boundary and level of detail, of an LCA depends on the subject and the intended use of the study. The depth and the breadth of LCA can differ considerably depending on the goal of a particular LCA.

The life cycle inventory analysis phase (LCI phase) is the second phase of LCA. It is an inventory of input/output data with regard to the system being studied. It involves collection of the data necessary to meet the goals of the defined study

The life cycle impact assessment phase (LCIA) is the third phase of the LCA. The purpose of LCIA is to provide additional information to help assess a product system's LCI results so as to better understand their environmental significance.

---

1) In this International Standard, the term "product" includes services.

2) The "potential environmental impacts" are relative expressions, as they are related to the functional unit of a product system.

Life cycle interpretation is the final phase of the LCA procedure, in which the results of an LCI or an LCIA, or both, are summarized and discussed as a basis for conclusions, recommendations and decision-making in accordance with the goal and scope definition.

There are cases where the goal of an LCA can be satisfied by performing only an inventory analysis and an interpretation. This is usually referred to as an LCI study.

This International Standard covers two types of studies: life cycle assessment studies (LCA studies) and life cycle inventory studies (LCI studies). LCI studies are similar to LCA studies but exclude the LCIA phase. LCI studies are not to be confused with the LCI phase of an LCA study.

Generally, the information developed in an LCA or LCI study can be used as part of a much more comprehensive decision process. Comparing the results of different LCA or LCI studies is only possible if the assumptions and context of each study are equivalent. Therefore this International Standard contains several requirements and recommendations to ensure transparency on these issues.

LCA is one of several environmental management techniques (e.g. risk assessment, environmental performance evaluation, environmental auditing, and environmental impact assessment) and might not be the most appropriate technique to use in all situations. LCA typically does not address the economic or social aspects of a product, but the life cycle approach and methodologies described in this International Standard can be applied to these other aspects.

This International Standard, like other International Standards, is not intended to be used to create non-tariff trade barriers or to increase or change an organization's legal obligations.



# Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework

## 1 Scope

This International Standard describes the principles and framework for life cycle assessment (LCA) including

- a) the goal and scope definition of the LCA,
- b) the life cycle inventory analysis (LCI) phase,
- c) the life cycle impact assessment (LCIA) phase,
- d) the life cycle interpretation phase,
- e) reporting and critical review of the LCA,
- f) limitations of the LCA,
- g) relationship between the LCA phases, and
- h) conditions for use of value choices and optional elements.

This International Standard covers life cycle assessment (LCA) studies and life cycle inventory (LCI) studies. It does not describe the LCA technique in detail, nor does it specify methodologies for the individual phases of the LCA.

The intended application of LCA or LCI results is considered during the goal and scope definition, but the application itself is outside the scope of this International Standard.

This International Standard is not intended for contractual or regulatory purposes or registration and certification.

## 2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

ISO 14044, *Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines*

## 3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply.

**3.1**  
**life cycle**  
consecutive and interlinked stages of a product system, from raw material acquisition or generation from natural resources to final disposal

**3.2**  
**life cycle assessment**  
**LCA**  
compilation and evaluation of the inputs, outputs and the potential environmental impacts of a product system throughout its life cycle

**3.3**  
**life cycle inventory analysis**  
**LCI**  
phase of life cycle assessment involving the compilation and quantification of inputs and outputs for a product throughout its life cycle

**3.4**  
**life cycle impact assessment**  
**LCIA**  
phase of life cycle assessment aimed at understanding and evaluating the magnitude and significance of the potential environmental impacts for a product system throughout the life cycle of the product

**3.5**  
**life cycle interpretation**  
phase of life cycle assessment in which the findings of either the inventory analysis or the impact assessment, or both, are evaluated in relation to the defined goal and scope in order to reach conclusions and recommendations

**3.6**  
**comparative assertion**  
environmental claim regarding the superiority or equivalence of one product versus a competing product that performs the same function

**3.7**  
**transparency**  
open, comprehensive and understandable presentation of information

**3.8**  
**environmental aspect**  
element of an organization's activities, products or services that can interact with the environment

[ISO 14001:2004, definition 3.6]

**3.9**  
**product**  
any goods or service

NOTE 1 The product can be categorized as follows:

- services (e.g. transport);
- software (e.g. computer program, dictionary);
- hardware (e.g. engine mechanical part);
- processed materials (e.g. lubricant).

NOTE 2 Services have tangible and intangible elements. Provision of a service can involve, for example, the following:

- an activity performed on a customer-supplied tangible product (e.g. automobile to be repaired);
- an activity performed on a customer-supplied intangible product (e.g. the income statement needed to prepare a tax return);
- the delivery of an intangible product (e.g. the delivery of information in the context of knowledge transmission);
- the creation of ambience for the customer (e.g. in hotels and restaurants).

Software consists of information and is generally intangible and can be in the form of approaches, transactions or procedures.

Hardware is generally tangible and its amount is a countable characteristic. Processed materials are generally tangible and their amount is a continuous characteristic.

NOTE 3 Adapted from ISO 14021:1999 and ISO 9000:2005.

### 3.10

#### **co-product**

any of two or more products coming from the same unit process or product system

### 3.11

#### **process**

set of interrelated or interacting activities that transforms inputs into outputs

[ISO 9000:2005, definition 3.4.1 (without notes)]

### 3.12

#### **elementary flow**

material or energy entering the system being studied that has been drawn from the environment without previous human transformation, or material or energy leaving the system being studied that is released into the environment without subsequent human transformation

### 3.13

#### **energy flow**

input to or output from a unit process or product system, quantified in energy units

NOTE Energy flow that is an input can be called an energy input; energy flow that is an output can be called an energy output.

### 3.14

#### **feedstock energy**

heat of combustion of a raw material input that is not used as an energy source to a product system, expressed in terms of higher heating value or lower heating value

NOTE Care is necessary to ensure that the energy content of raw materials is not counted twice.

### 3.15

#### **raw material**

primary or secondary material that is used to produce a product

NOTE Secondary material includes recycled material.

### 3.16

#### **ancillary input**

material input that is used by the unit process producing the product, but which does not constitute part of the product

**3.17**

**allocation**

partitioning the input or output flows of a process or a product system between the product system under study and one or more other product systems

**3.18**

**cut-off criteria**

specification of the amount of material or energy flow or the level of environmental significance associated with unit processes or product system to be excluded from a study

**3.19**

**data quality**

characteristics of data that relate to their ability to satisfy stated requirements

**3.20**

**functional unit**

quantified performance of a product system for use as a reference unit

**3.21**

**input**

product, material or energy flow that enters a unit process

NOTE Products and materials include raw materials, intermediate products and co-products.

**3.22**

**intermediate flow**

product, material or energy flow occurring between unit processes of the product system being studied

**3.23**

**intermediate product**

output from a unit process that is input to other unit processes that require further transformation within the system

**3.24**

**life cycle inventory analysis result**

**LCI result**

outcome of a life cycle inventory analysis that catalogues the flows crossing the system boundary and provides the starting point for life cycle impact assessment

**3.25**

**output**

product, material or energy flow that leaves a unit process

NOTE Products and materials include raw materials, intermediate products, co-products and releases.

**3.26**

**process energy**

energy input required for operating the process or equipment within a unit process, excluding energy inputs for production and delivery of the energy itself

**3.27**

**product flow**

products entering from or leaving to another product system

**3.28**

**product system**

collection of unit processes with elementary and product flows, performing one or more defined functions, and which models the life cycle of a product

**3.29****reference flow**

measure of the outputs from processes in a given product system required to fulfil the function expressed by the functional unit

**3.30****releases**

emissions to air and discharges to water and soil

**3.31****sensitivity analysis**

systematic procedures for estimating the effects of the choices made regarding methods and data on the outcome of a study

**3.32****system boundary**

set of criteria specifying which unit processes are part of a product system

NOTE The term "system boundary" is not used in this International Standard in relation to LCIA.

**3.33****uncertainty analysis**

systematic procedure to quantify the uncertainty introduced in the results of a life cycle inventory analysis due to the cumulative effects of model imprecision, input uncertainty and data variability

NOTE Either ranges or probability distributions are used to determine uncertainty in the results.

**3.34****unit process**

smallest element considered in the life cycle inventory analysis for which input and output data are quantified

**3.35****waste**

substances or objects which the holder intends or is required to dispose of

NOTE This definition is taken from the *Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and Their Disposal* (22 March 1989), but is not confined in this International Standard to hazardous waste.

**3.36****category endpoint**

attribute or aspect of natural environment, human health, or resources, identifying an environmental issue giving cause for concern

**3.37****characterization factor**

factor derived from a characterization model which is applied to convert an assigned life cycle inventory analysis result to the common unit of the category indicator

NOTE The common unit allows calculation of the category indicator result.

**3.38****environmental mechanism**

system of physical, chemical and biological processes for a given impact category, linking the life cycle inventory analysis results to category indicators and to category endpoints

**3.39****impact category**

class representing environmental issues of concern to which life cycle inventory analysis results may be assigned

**3.40**

**impact category indicator**

quantifiable representation of an impact category

NOTE The shorter expression "category indicator" is used in this International Standard for improved readability.

**3.41**

**completeness check**

process of verifying whether information from the phases of a life cycle assessment is sufficient for reaching conclusions in accordance with the goal and scope definition

**3.42**

**consistency check**

process of verifying that the assumptions, methods and data are consistently applied throughout the study and are in accordance with the goal and scope definition performed before conclusions are reached

**3.43**

**sensitivity check**

process of verifying that the information obtained from a sensitivity analysis is relevant for reaching the conclusions and for giving recommendations

**3.44**

**evaluation**

element within the life cycle interpretation phase intended to establish confidence in the results of the life cycle assessment

NOTE Evaluation includes completeness check, sensitivity check, consistency check, and any other validation that may be required according to the goal and scope definition of the study

**3.45**

**critical review**

process intended to ensure consistency between a life cycle assessment and the principles and requirements of the International Standards on life cycle assessment

NOTE 1 The principles are described in this International Standard (see 4.1).

NOTE 2 The requirements are described in ISO 14044.

**3.46**

**interested party**

individual or group concerned with or affected by the environmental performance of a product system, or by the results of the life cycle assessment

## **4 General description of life cycle assessment (LCA)**

### **4.1 Principles of LCA**

#### **4.1.1 General**

These principles are fundamental and should be used as guidance for decisions relating to both the planning and the conducting of an LCA.

#### **4.1.2 Life cycle perspective**

LCA considers the entire life cycle of a product, from raw material extraction and acquisition, through energy and material production and manufacturing, to use and end of life treatment and final disposal. Through such

a systematic overview and perspective, the shifting of a potential environmental burden between life cycle stages or individual processes can be identified and possibly avoided.

#### **4.1.3 Environmental focus**

LCA addresses the environmental aspects and impacts of a product system. Economic and social aspects and impacts are, typically, outside the scope of the LCA. Other tools may be combined with LCA for more extensive assessments.

#### **4.1.4 Relative approach and functional unit**

LCA is a relative approach, which is structured around a functional unit. This functional unit defines what is being studied. All subsequent analyses are then relative to that functional unit, as all inputs and outputs in the LCI and consequently the LCIA profile are related to the functional unit.

#### **4.1.5 Iterative approach**

LCA is an iterative technique. The individual phases of an LCA use results of the other phases. The iterative approach within and between the phases contributes to the comprehensiveness and consistency of the study and the reported results.

#### **4.1.6 Transparency**

Due to the inherent complexity in LCA, transparency is an important guiding principle in executing LCAs, in order to ensure a proper interpretation of the results.

#### **4.1.7 Comprehensiveness**

LCA considers all attributes or aspects of natural environment, human health and resources. By considering all attributes and aspects within one study in a cross-media perspective, potential trade-offs can be identified and assessed.

#### **4.1.8 Priority of scientific approach**

Decisions within an LCA are preferably based on natural science. If this is not possible, other scientific approaches (e.g. from social and economic sciences) may be used or international conventions may be referred to. If neither a scientific basis exists nor a justification based on other scientific approaches or international conventions is possible, then, as appropriate, decisions may be based on value choices.

### **4.2 Phases of an LCA**

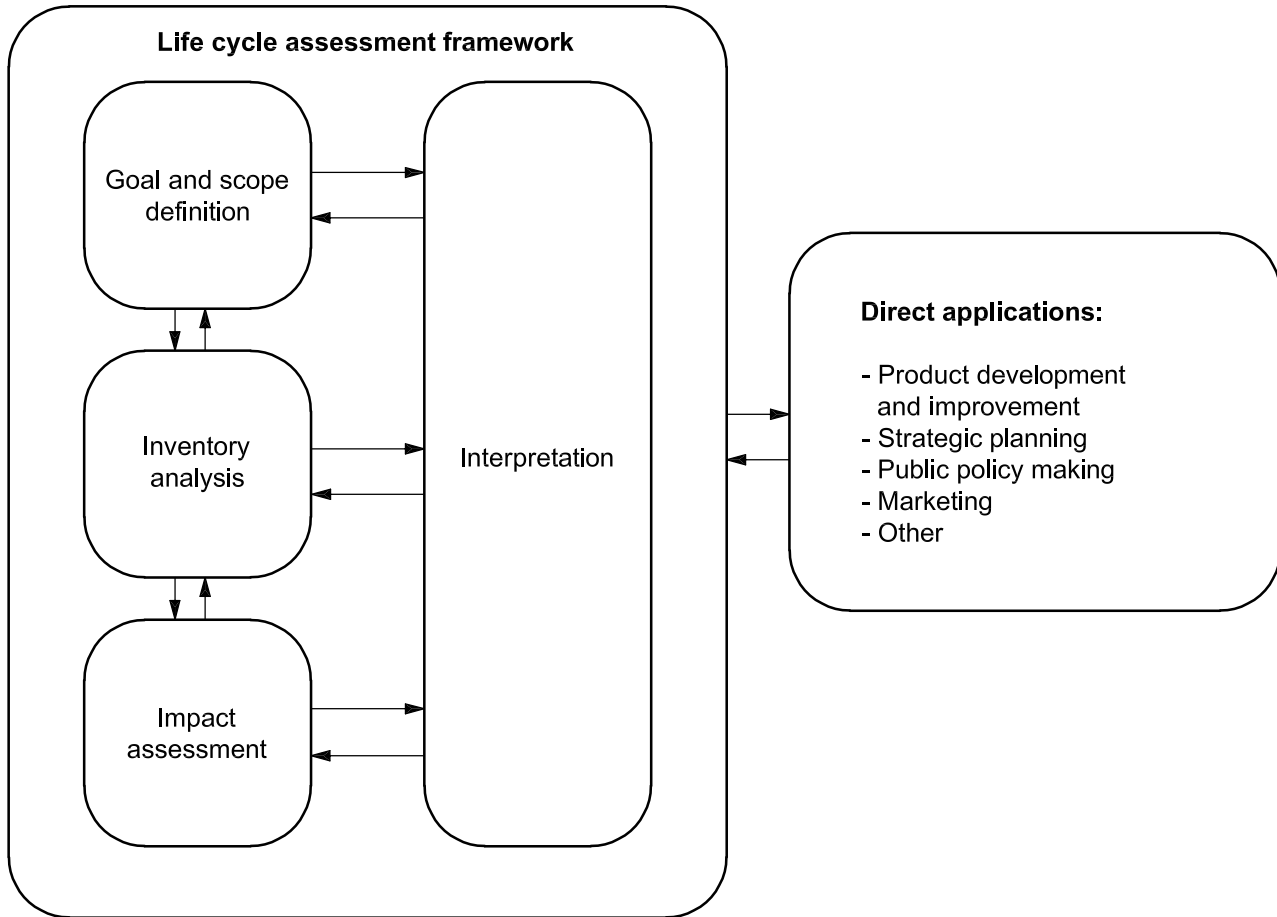
**4.2.1** LCA studies comprise four phases. The relationship between the phases is illustrated in Figure 1. These are

- the goal and scope definition,
- inventory analysis,
- impact assessment, and
- interpretation.

**4.2.2** LCI studies comprise three phases:

- the goal and scope definition,
- inventory analysis, and
- interpretation.

**4.2.3** LCA results may be useful inputs to a variety of decision-making processes. Direct applications of the results of LCA or LCI studies, i.e. the applications intended in the goal and scope definition of the LCA or LCI study, are depicted in Figure 1. More information on application areas for LCA can be found in Annex A.



**Figure 1 — Stages of an LCA**

**4.3 Key features of an LCA**

The following list summarizes some of the key features of the LCA methodology:

- a) LCA assesses, in a systematic way, the environmental aspects and impacts of product systems, from raw material acquisition to final disposal, in accordance with the stated goal and scope;
- b) the relative nature of LCA is due to the functional unit feature of the methodology;
- c) the depth of detail and time frame of an LCA may vary to a large extent, depending on the goal and scope definition;
- d) provisions are made, depending on the intended application of the LCA, to respect confidentiality and proprietary matters;
- e) LCA methodology is open to the inclusion of new scientific findings and improvements in the state-of-the-art of the technique;
- f) specific requirements are applied to LCA that are intended to be used in comparative assertions intended to be disclosed to the public;



- g) there is no single method for conducting LCA. Organizations have the flexibility to implement LCA as established in this International Standard, in accordance with the intended application and the requirements of the organization;
- h) LCA is different from many other techniques (such as environmental performance evaluation, environmental impact assessment and risk assessment) as it is a relative approach based on a functional unit; LCA may, however, use information gathered by these other techniques;
- i) LCA addresses potential environmental impacts; LCA does not predict absolute or precise environmental impacts due to
  - the relative expression of potential environmental impacts to a reference unit,
  - the integration of environmental data over space and time,
  - the inherent uncertainty in modelling of environmental impacts, and
  - the fact that some possible environmental impacts are clearly future impacts;
- j) the LCIA phase, in conjunction with other LCA phases, provides a system-wide perspective of environmental and resource issues for one or more product system(s);
- k) LCIA assigns LCI results to impact categories; for each impact category, a life cycle impact category indicator is selected and the category indicator result (indicator result) is calculated; the collection of indicator results (LCIA results) or the LCIA profile provides information on the environmental issues associated with the inputs and outputs of the product system;
- l) there is no scientific basis for reducing LCA results to a single overall score or number, since weighting requires value choices;
- m) life cycle interpretation uses a systematic procedure to identify, qualify, check, evaluate and present the conclusions based on the findings of an LCA, in order to meet the requirements of the application as described in the goal and scope of the study;
- n) life cycle interpretation uses an iterative procedure both within the interpretation phase and with the other phases of an LCA;
- o) life cycle interpretation makes provisions for links between LCA and other techniques for environmental management by emphasizing the strengths and limits of an LCA in relation to its goal and scope definition.

#### 4.4 General concepts of product systems

LCA models the life cycle of a product as its product system, which performs one or more defined functions.

The essential property of a product system is characterized by its function and cannot be defined solely in terms of the final products. Figure 2 shows an example of a product system.

Product systems are subdivided into a set of unit processes (see Figure 3). Unit processes are linked to one another by flows of intermediate products and/or waste for treatment, to other product systems by product flows, and to the environment by elementary flows.

Dividing a product system into its component unit processes facilitates identification of the inputs and outputs of the product system. In many cases, some of the inputs are used as a component of the output product, while others (ancillary inputs) are used within a unit process but are not part of the output product. A unit process also generates other outputs (elementary flows and/or products) as a result of its activities. The level of modelling detail that is required to satisfy the goal of the study determines the boundary of a unit process.

The elementary flows include the use of resources and releases to air, water and land associated with the system. Interpretations may be drawn from these data, depending on the goal and scope of the LCA. These data are the LCI results and constitute the input for LCIA.

EXAMPLES

- Elementary flows entering the unit process: crude oil from the ground and solar radiation.
- Elementary flows leaving the unit process: emissions to air, discharges to water or soil and radiation.
- Intermediate product flows: basic materials and subassemblies.
- Product flows entering or leaving the system: recycled materials and components for reuse.

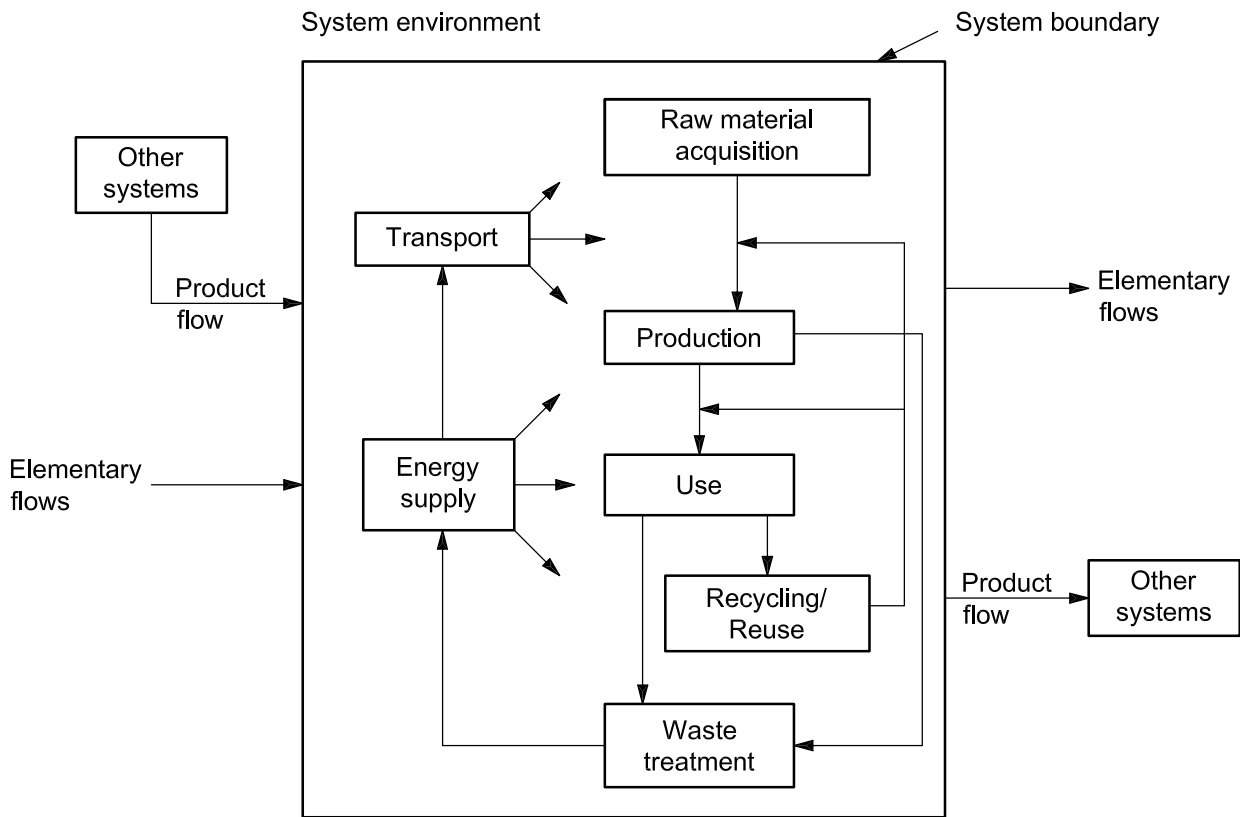


Figure 2 — Example of a product system for LCA

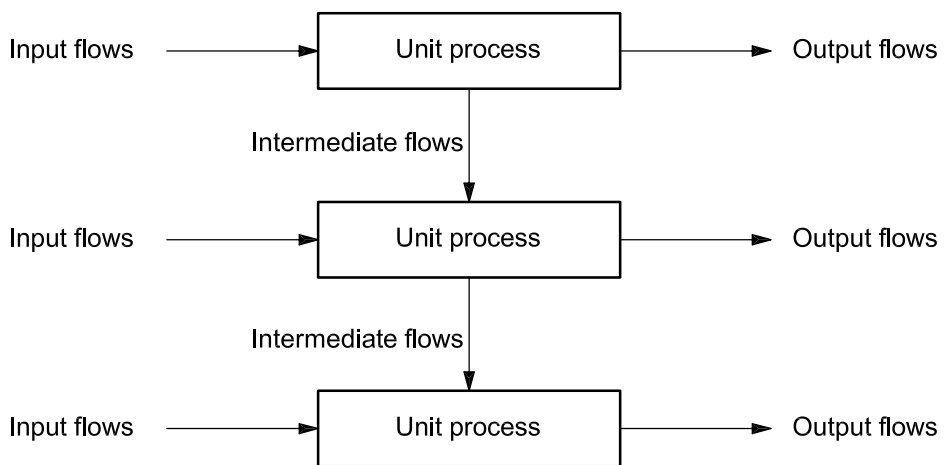


Figure 3 — Example of a set of unit processes within a product system

## 5 Methodological framework

### 5.1 General requirements

When performing an LCA, the requirements of ISO 14044 shall apply.

### 5.2 Goal and scope definition

#### 5.2.1 General

##### 5.2.1.1 The goal of an LCA states

- the intended application,
- the reasons for carrying out the study,
- the intended audience, i.e. to whom the results of the study are intended to be communicated, and
- whether the results are intended to be used in comparative assertions intended to be disclosed to the public.

The scope should be sufficiently well defined to ensure that the breadth, depth and detail of the study are compatible and sufficient to address the stated goal.

##### 5.2.1.2 The scope includes the following items:

- the product system to be studied;
- the functions of the product system or, in the case of comparative studies, the systems;
- the functional unit;
- the system boundary;
- allocation procedures;
- impact categories selected and methodology of impact assessment, and subsequent interpretation to be used;
- data requirements;
- assumptions;
- limitations;
- initial data quality requirements;
- type of critical review, if any;
- type and format of the report required for the study.

LCA is an iterative technique, and as data and information are collected, various aspects of the scope may require modification in order to meet the original goal of the study.

### 5.2.2 Function, functional unit and reference flows

A system may have a number of possible functions and the one(s) selected for a study depend(s) on the goal and scope of the LCA.

The functional unit defines the quantification of the identified functions (performance characteristics) of the product. The primary purpose of a functional unit is to provide a reference to which the inputs and outputs are related. This reference is necessary to ensure comparability of LCA results. Comparability of LCA results is particularly critical when different systems are being assessed, to ensure that such comparisons are made on a common basis.

It is important to determine the reference flow in each product system, in order to fulfil the intended function, i.e. the amount of products needed to fulfil the function.

**EXAMPLE** In the function of drying hands, both a paper towel and an air-dryer system are studied. The selected functional unit may be expressed in terms of the identical number of pairs of hands dried for both systems. For each system, it is possible to determine the reference flow, e.g. the average mass of paper or the average volume of hot air required for one pair of hand-dry, respectively. For both systems, it is possible to compile an inventory of inputs and outputs on the basis of the reference flows. At its simplest level, in the case of paper towel, this would be related to the paper consumed. In the case of the air-dryer, this would be related to the mass of hot air needed to dry the hands.

### 5.2.3 System boundary

LCA is conducted by defining product systems as models that describe the key elements of physical systems. The system boundary defines the unit processes to be included in the system. Ideally, the product system should be modelled in such a manner that inputs and outputs at its boundary are elementary flows. However, resources need not be expended on the quantification of such inputs and outputs that will not significantly change the overall conclusions of the study.

The choice of elements of the physical system to be modelled depends on the goal and scope definition of the study, its intended application and audience, the assumptions made, data and cost constraints, and cut-off criteria. The models used should be described and the assumptions underlying those choices should be identified. The cut-off criteria used within a study should be clearly understood and described.

The criteria used in setting the system boundary are important for the degree of confidence in the results of a study and the possibility of reaching its goal.

When setting the system boundary, several life cycle stages, unit processes and flows should be taken into consideration, for example, the following:

- acquisition of raw materials;
- inputs and outputs in the main manufacturing/processing sequence;
- distribution/transportation;
- production and use of fuels, electricity and heat;
- use and maintenance of products;
- disposal of process wastes and products;
- recovery of used products (including reuse, recycling and energy recovery);
- manufacture of ancillary materials;
- manufacture, maintenance and decommissioning of capital equipment;
- additional operations, such as lighting and heating.

In many instances, the initially defined system boundary defined will subsequently need to be refined.

### 5.2.4 Data quality requirements

Data quality requirements specify in general terms the characteristics of the data needed for the study.

Descriptions of data quality are important to understand the reliability of the study results and properly interpret the outcome of the study.

## 5.3 Life cycle inventory analysis (LCI)

### 5.3.1 General

Inventory analysis involves data collection and calculation procedures to quantify relevant inputs and outputs of a product system.

The process of conducting an inventory analysis is iterative. As data are collected and more is learned about the system, new data requirements or limitations may be identified that require a change in the data collection procedures so that the goals of the study will still be met. Sometimes, issues may be identified that require revisions to the goal or scope of the study.

### 5.3.2 Data collection

Data for each unit process within the systems boundary can be classified under major headings, including

- energy inputs, raw material inputs, ancillary inputs, other physical inputs,
- products, co-products and waste,
- emissions to air, discharges to water and soil, and
- other environmental aspects.

Data collection can be a resource-intensive process. Practical constraints on data collection should be considered in the scope and documented in the study report.

### 5.3.3 Data calculation

Following the data collection, calculation procedures, including

- validation of data collected,
- the relating of data to unit processes, and
- the relating of data to the reference flow of the functional unit,

are needed to generate the results of the inventory of the defined system for each unit process and for the defined functional unit of the product system that is to be modelled.

The calculation of energy flows should take into account the different fuels and electricity sources used, the efficiency of conversion and distribution of energy flow, as well as the inputs and outputs associated with the generation and use of that energy flow.

### 5.3.4 Allocation of flows and releases

Few industrial processes yield a single output or are based on a linearity of raw material inputs and outputs. In fact, most industrial processes yield more than one product, and they recycle intermediate or discarded products as raw materials.

Consideration should be given to the need for allocation procedures when dealing with systems involving multiple products and recycling systems.

## **5.4 Life cycle impact assessment (LCIA)**

### **5.4.1 General**

The impact assessment phase of LCA is aimed at evaluating the significance of potential environmental impacts using the LCI results. In general, this process involves associating inventory data with specific environmental impact categories and category indicators, thereby attempting to understand these impacts. The LCIA phase also provides information for the life cycle interpretation phase.

The impact assessment may include the iterative process of reviewing the goal and scope of the LCA study to determine if the objectives of the study have been met, or to modify the goal and scope if the assessment indicates that they cannot be achieved.

Issues such as choice, modelling and evaluation of impact categories can introduce subjectivity into the LCIA phase. Therefore, transparency is critical to the impact assessment to ensure that assumptions are clearly described and reported.

### **5.4.2 Elements of LCIA**

The elements of the LCIA phase are illustrated in Figure 4.

NOTE Further explanation of LCIA terminology can be found in ISO 14044.

Separation of the LCIA phase into different elements is helpful and necessary for several reasons, as follows:

- a) each LCIA element is distinct and can be clearly defined;
- b) the goal and scope definition phase of an LCA can consider each LCIA element separately;
- c) a quality assessment of the LCIA methods, assumptions and other decisions can be conducted for each LCIA element;
- d) LCIA procedures, assumptions and other operations within each element can be made transparent for critical review and reporting;
- e) the use of values and subjectivity (hereafter referred to as value-choices), within each element, can be made transparent for critical review and reporting.

The level of detail, choice of impacts evaluated and methodologies used depend on the goal and scope of the study.

## LIFE CYCLE IMPACT ASSESSMENT

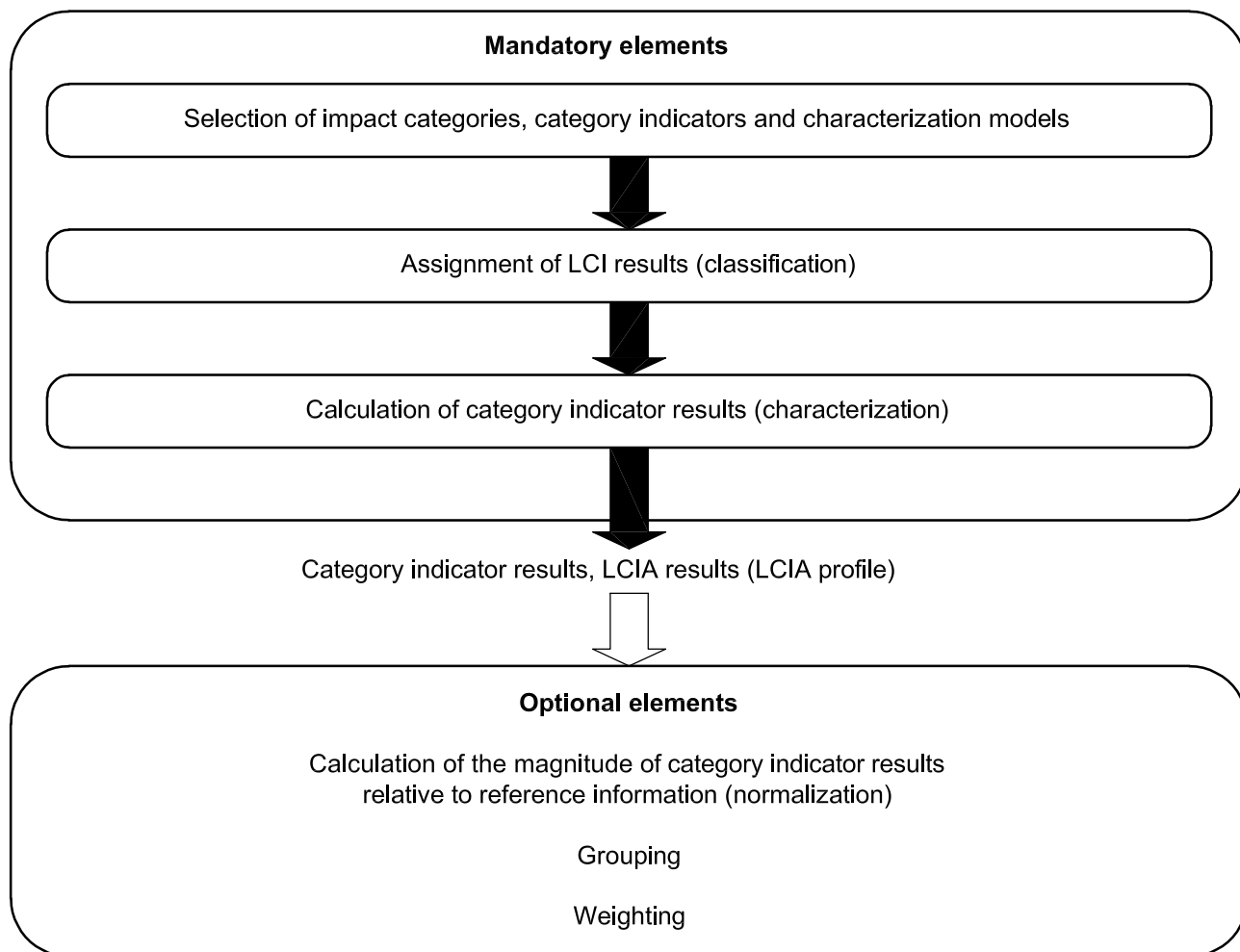


Figure 4 — Elements of the LCIA phase

### 5.4.3 Limitations of LCIA

The LCIA addresses only the environmental issues that are specified in the goal and scope. Therefore, LCIA is not a complete assessment of all environmental issues of the product system under study.

LCIA cannot always demonstrate significant differences between impact categories and the related indicator results of alternative product systems. This may be due to

- limited development of the characterization models, sensitivity analysis and uncertainty analysis for the LCIA phase,
- limitations of the LCI phase, such as setting the system boundary, that do not encompass all possible unit processes for a product system or do not include all inputs and outputs of every unit process, since there are cut-offs and data gaps,
- limitations of the LCI phase, such as inadequate LCI data quality which may, for instance, be caused by uncertainties or differences in allocation and aggregation procedures, and
- limitations in the collection of inventory data appropriate and representative for each impact category.

The lack of spatial and temporal dimensions in the LCI results introduces uncertainty in the LCIA results. The uncertainty varies with the spatial and temporal characteristics of each impact category.

There are no generally accepted methodologies for consistently and accurately associating inventory data with specific potential environmental impacts. Models for impact categories are in different stages of development.

## **5.5 Life cycle interpretation**

Interpretation is the phase of LCA in which the findings from the inventory analysis and the impact assessment are considered together or, in the case of LCI studies, the findings of the inventory analysis only. The interpretation phase should deliver results that are consistent with the defined goal and scope and which reach conclusions, explain limitations and provide recommendations.

The interpretation should reflect the fact that the LCIA results are based on a relative approach, that they indicate potential environmental effects, and that they do not predict actual impacts on category endpoints, the exceeding of thresholds or safety margins or risks.

The findings of this interpretation may take the form of conclusions and recommendations to decision-makers, consistent with the goal and scope of the study.

Life cycle interpretation is also intended to provide a readily understandable, complete and consistent presentation of the results of an LCA, in accordance with the goal and scope definition of the study.

The interpretation phase may involve the iterative process of reviewing and revising the scope of the LCA, as well as the nature and quality of the data collected in a way which is consistent with the defined goal.

The findings of the life cycle interpretation should reflect the results of the evaluation element.

## **6 Reporting**

A reporting strategy is an integral part of an LCA. An effective report should address the different phases of the study under consideration.

Report the results and conclusions of the LCA in an adequate form to the intended audience, addressing the data, methods and assumptions applied in the study, and the limitations thereof.

If the study extends to the LCIA phase and is reported to a third-party, the following issues should be reported:

- the relationship with the LCI results;
- a description of the data quality;
- the category endpoints to be protected;
- the selection of impact categories;
- the characterization models;
- the factors and environmental mechanisms;
- the indicator results profile.

The relative nature of the LCIA results and their inadequacy to predict impacts on category endpoints should also be addressed in the report. Include reference and description of value choices used in the LCIA phase of the study in relation to characterization models, normalization, weighting, etc.



Include other requirements given in ISO 14044 whenever the study results are intended to be used in comparative assertions intended to be disclosed to the public. Furthermore, in reporting the interpretation phase, ISO 14044 requires full transparency in terms of value choices, rationales and expert judgements.

## **7 Critical review**

### **7.1 General**

Critical review is a process to verify whether an LCA has met the requirements for methodology, data, interpretation and reporting and whether it is consistent with the principles.

In general, critical reviews of an LCA may utilize any of the review options outlined in 7.3. A critical review can neither verify nor validate the goals that are chosen for an LCA by the study commissioner, nor the ways in which the LCA results are used.

### **7.2 Need for critical review**

A critical review may facilitate understanding and enhance the credibility of LCA, for example by involving interested parties.

The use of LCA results to support comparative assertions raises special concerns and requires critical review, since this application is likely to affect interested parties that are external to the LCA. However, the fact that a critical review has been conducted should in no way imply an endorsement of any comparative assertion that is based on an LCA study.

### **7.3 Critical review processes**

#### **7.3.1 General**

The scope and type of critical review desired is defined in the scope phase of an LCA. The scope should identify why the critical review is being undertaken, what will be covered and to what level of detail, and who needs to be involved in the process.

The review should ensure that the classification, characterization, normalization, grouping and weighting elements are sufficient and are documented in such a way that enables the life cycle interpretation phase of the LCA to be carried out.

Confidentiality agreements regarding the content of the LCA should be entered into as needed.

#### **7.3.2 Critical review by internal or external expert**

The internal or external expert should be familiar with the requirements of LCA and should have the appropriate scientific and technical expertise.

#### **7.3.3 Critical review by a panel of interested parties**

An external independent expert should be selected by the original study commissioner to act as chairperson of a review panel of at least three members. Based on the goal, scope and budget available for the review, the chairperson should select other independent qualified reviewers.

This panel may also include other interested parties affected by the conclusions drawn from the LCA, such as government agencies, non-governmental groups, competitors and affected industries.

## Annex A (informative)

### Application of LCA

#### A.1 Application areas

**A.1.1** The intended applications of LCA are addressed in 4.2 (Figure 1) in a non-exclusive, exemplary manner. The applications of LCA as such are outside the scope of this International Standard.

Further applications in the field of environmental management systems and tools include, among others:

- a) environmental management systems and environmental performance evaluation (ISO 14001, ISO 14004, ISO 14031 and ISO/TR 14032), for example, identification of significant environmental aspects of the products and services of an organization;
- b) environmental labels and declarations (ISO 14020, ISO 14021 and ISO 14025);
- c) integration of environmental aspects into product design and development (design for environment) (ISO/TR 14062);
- d) inclusion of environmental aspects in product standards (ISO Guide 64);
- e) environmental communication (ISO 14063);
- f) quantification, monitoring and reporting of entity and project emissions and removals, and validation, verification and certification of greenhouse gas emissions [ISO 14064 (all parts)].

There are a variety of potential further applications in private and public organizations. The list of techniques, methods and tools below does not indicate that they are based on the LCA technique as such, but that the life cycle approach, principles and framework can be beneficially applied. These are, amongst others:

- environmental impact assessment (EIA);
- environmental management accounting (EMA);
- assessment of policies (models for recycling, etc.);
- sustainability assessment; economic and social aspects are not included in LCA, but the procedures and guidelines could be applied by appropriate competent parties;
- substance and material flow analysis (SFA and MFA);
- hazard and risk assessment of chemicals;
- risk analysis and risk management of facilities and plants;
- product stewardship, supply chain management;
- life cycle management (LCM);
- design briefs, life cycle thinking;
- life cycle costing (LCC).

Clarifications, considerations, practices, simplifications and options for the different applications are also beyond the scope of this International Standard.

**A.1.2** There is no single solution as to how LCA can best be applied within the decision-making context. Each organization has to solve and decide that case by case depending (amongst others) on the size and culture of the organization, its products, the strategy, the internal systems, tools and procedures and the external drivers.

LCA may be used for a broad spectrum of applications. The individual use, adaptation and practice of LCA for all potential applications are based on this International Standard and on ISO 14044.

In addition, the LCA technique with proper justification could be applied in studies that are not LCA or LCI studies. Examples are

- cradle-to-gate studies,
- gate-to-gate studies, and
- specific parts of the life cycle (e.g. waste management, components of a product).

For those studies most requirements of this International Standard and ISO 14044 are applicable (e.g. data quality, collection and calculation as well as allocation and critical review), but not all the requirements for the system boundary.

**A.1.3** For specific applications, it can be appropriate, as part of the LCIA, to determine the indicator results of each unit process or of each stage of a life cycle individually and to calculate the indicator results of the whole product system by adding up the indicator results of the different unit processes or stages.

This procedure is within the framework of this International Standard, provided that

- it has been defined within the goal and scope definition phase, and
- it is shown that the results of such an approach are identical with the results of an LCA which applies the sequence of steps according to the guidance of this International Standard and ISO 14044.

## A.2 Application approach

It is necessary to consider the decision-making context when defining the scope of an LCA; i.e. the product systems studied should adequately address the products and processes affected by the intended application.

The examples of applications relate to decisions that aim for environmental improvements, which is also the overall focus of the ISO 14000 series. Therefore, the products and processes studied in an LCA are those affected by the decision that the LCA intends to support.

Some applications may not appear to immediately address improvements, such as LCA to be used for education or information about the product life cycle. However, as soon as such information is applied in practice, it is used in an improvement context. Therefore, special care is necessary to ensure that the information is applicable to the context in which it is likely to be applied.

Two possible different approaches to LCA have developed during the recent years. These are

- a) one which assigns elementary flows and potential environmental impacts to a specific product system typically as an account of the history of the product, and
- b) one which studies the environmental consequences of possible (future) changes between alternative product systems.

## Bibliography

- [1] ISO 9000:2005, *Quality management systems — Fundamentals and vocabulary*
- [2] ISO 14001:2004, *Environmental management systems — Requirements with guidance for use*
- [3] ISO 14004:2004, *Environmental management systems — General guidelines on principles, systems and support techniques*
- [4] ISO 14020, *Environmental labels and declarations — General principles*
- [5] ISO 14021, *Environmental labels and declarations — Self-declared environmental claims (Type II environmental labelling)*
- [6] ISO 14025, *Environmental labels and declarations — Type III environmental declarations — Principles and procedures*
- [7] ISO 14031, *Environmental management — Environmental performance evaluation — Guidelines*
- [8] ISO/TR 14032, *Environmental management — Examples of environmental performance evaluation (EPE)*
- [9] ISO/TR 14047, *Environmental management — Life cycle impact assessment — Examples of application of ISO 14042*
- [10] ISO/TS 14048, *Environmental management — Life cycle assessment — Data documentation format*
- [11] ISO/TR 14049, *Environmental management — Life cycle assessment — Examples of application of ISO 14041 to goal and scope definition and inventory analysis*
- [12] ISO 14050, *Environmental management — Vocabulary*
- [13] ISO/TR 14062, *Environmental management — Integrating environmental aspects into product design and development*
- [14] ISO 14063, *Environmental management — Environmental communication — Guidelines and examples*
- [15] ISO 14064-1, *Greenhouse gases — Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals*
- [16] ISO 14064-2, *Greenhouse gases — Part 2: Specification with guidance at the project level for quantification, monitoring and reporting of greenhouse gas emission reductions or removal enhancements*
- [17] ISO 14064-3, *Greenhouse gases — Part 3: Specification with guidance for the validation and verification of greenhouse gas assertions*
- [18] ISO Guide 64, *Guide for the inclusion of environmental aspects in product standards*





## Anexo 2- Planilha de dados utilizados

Nº tora	p1cc (cm)	p2sc (cm)	p3cc (cm)	e1 (cm)	L (cm)
1	82	76	82	1,1	330
2	79	78	90	0,43	310
3	76	70	69	0,43	470
4	94	84	80	0,53	356
5	75	86	88	0,54	310
6	72	70	64	0,46	340
7	135	128	142	1,14	320
8	72	76	82	0,64	330
9	87	78	92,5	1,5	376
10	103	118	113	1,9	385
11	94	81	76	0,7	300
12	108	102	113,5	0	385
13	106	98	85	0,51	374
14	71	74	73,5	0,7	334
15	110	100	102	0,62	397
16	88	81	82	0,9	380
17	82	89,5	105	0,6	345
18	93	73	84	0,5	396
19	85	75,5	77	0	399
20	82	75	82	0,4	338
21	85	85,5	93	0,6	340
22	80	84	90	0,4	402
23	92	99	107	0,8	334
24	73	70	81	0,8	343
25	90	95	110	1	375
26	88	89	98,5	0,7	414
27	80	83	91,5	0,6	395
28	137	138	148	1,2	390
29	81,5	80	90	1,4	388
30	90	89	98,5	1,3	389
31	130	108	106	1,1	387
32	116	112	108	0	384
33	102	100	103,5	0,8	380
34	95	96	115	0,9	404
35	130	105	96	1	392
36	142	133	138	1,5	380

\*p= perímetro; e= espessura; L = comprimento; cc= com casca; sc= sem casca

## Anexo 3- Cálculo dos raios para cada tora

Nº tora	r1sc (cm)	r2sc (cm)	r3sc (cm)	r1cc (cm)	r2cc (cm)	r3cc (cm)	Conicidade
1	11,95	12,10	11,95	13,05	13,20	13,05	0,978
2	12,14	12,41	13,89	12,57	12,84	14,32	1,074
3	11,67	11,14	10,55	12,10	11,57	10,98	0,956
4	14,43	13,37	12,20	14,96	13,90	12,73	0,995
5	11,40	13,69	13,47	11,94	14,23	14,01	1,050
6	11,00	11,14	9,73	11,46	11,60	10,19	1,028
7	20,35	20,37	21,46	21,49	21,51	22,60	1,011
8	10,82	12,10	12,41	11,46	12,74	13,05	0,947
9	12,35	12,41	13,22	13,85	13,91	14,72	1,093
10	14,49	18,78	16,08	16,39	20,68	17,98	1,020
11	14,26	12,89	11,40	14,96	13,59	12,10	1,018
12	17,19	16,23	18,06	17,19	16,23	18,06	1,016
13	16,36	15,60	13,02	16,87	16,11	13,53	1,048
14	10,60	11,78	11,00	11,30	12,48	11,70	0,982
15	16,89	15,92	15,61	17,51	16,54	16,23	1,014
16	13,11	12,89	12,15	14,01	13,79	13,05	1,190
17	12,45	14,24	16,11	13,05	14,84	16,71	1,016
18	14,30	11,62	12,87	14,80	12,12	13,37	1,006
19	13,53	12,02	12,25	13,53	12,02	12,25	0,981
20	12,65	11,94	12,65	13,05	12,34	13,05	1,000
21	12,93	13,61	14,20	13,53	14,21	14,80	1,007
22	12,33	13,37	13,92	12,73	13,77	14,32	1,160
23	13,84	15,76	16,23	14,64	16,56	17,03	1,001
24	10,82	11,14	12,09	11,62	11,94	12,89	0,984
25	13,32	15,12	16,51	14,32	16,12	17,51	1,016
26	13,31	14,16	14,98	14,01	14,86	15,68	0,942
27	12,13	13,21	13,96	12,73	13,81	14,56	0,936
28	20,60	21,96	22,35	21,80	23,16	23,55	1,059
29	11,57	12,73	12,92	12,97	14,13	14,32	1,056
30	13,02	14,16	14,38	14,32	15,46	15,68	1,017
31	19,59	17,19	15,77	20,69	18,29	16,87	1,010
32	18,46	17,83	17,19	18,46	17,83	17,19	1,136
33	15,43	15,92	15,67	16,23	16,72	16,47	1,032
34	14,22	15,28	17,40	15,12	16,18	18,30	0,996
35	19,69	16,71	14,28	20,69	17,71	15,28	1,055
36	21,10	21,17	20,46	22,60	22,67	21,96	1,019

\*r= raio; cc= com casca; sc= sem casca



## Anexo 4 – Medidas das tábuas

Nº tora	Espessura 1	Número 1	Espessura 2	Número 2	Espessura 3	Número 3	Espessura 4	Número 4	Largura (cm)	Comprimento (cm)
1	2,5	5							17,63	330
2	2,2	10							15	310
3	2	1	1,9	5					14	470
4	2	6	1,9	1	1,6	1			14,5	356
5	1,9	3	1,8	2	2	1	1,6	1	15	310
6	2	3	1,5	1					14,9	340
7	2,2	10	2,3	2					17,5	320
8	1,9	3	1,7	2	1,6	1			15,1	330
9	2,5	2	1,3	1					17,5	376
10	2,34	6							17,3	385
11	1,9	5	1,7	1	1,5	2			15,9	300
12	2,5	8							17,7	385
13	1,5	1	1,7	6					15	374
14	1,3	5	1,8	3					15	334
15	2	3	1,9	4	1,6	1			14,9	397
16	2	4	1,8	3	1,7	1			15,1	380
17	2	3	1,9	3					12,5	345
18	2,5	6							17,6	396
19	2	5	1,9	1	1,8	1			15,2	399
20	1,8	5	1,6	2	1,7	1			14,9	338
21	1,8	9							15	340
22	2	4	1,9	2					15	402
23	1,8	9	1,6	1	1,9	2			15,1	334
24	1,8	4	1,7	4					15	343
25	1,7	4	2	3	1,8	5	1,6	1	15,5	375
26	2,5	6							17,6	414
27	1,9	7	1,6	3					15,3	395
28	2,5	10							17,6	390
29	2,5	6							16,7	388
30	2,6	8							17,4	389
31	2,5	12							17,8	387
32	2,5	9							18	384
33	2,5	6							18,2	380
34	2,9	8							16,9	404
35	2,6	9							17,7	392
36	2,7	15							17,7	380

## Anexo 5- Resultados para os Métodos de Newton e Smalian

Nº tora	Método de Newton		Método de Smalian	
	% volume aproveitado sc	% resíduo	% volume aproveitado sc	% resíduo
1	43,94	56,06	44,65	55,35
2	63,74	36,26	59,71	40,29
3	26,38	73,62	26,44	73,56
4	33,74	66,26	33,76	66,24
5	33,72	66,28	38,31	61,69
6	26,45	73,55	29,12	70,88
7	32,88	67,12	31,77	68,23
8	32,76	67,24	34,49	65,51
9	17,80	82,20	17,11	82,89
10	19,23	80,77	25,70	74,30
11	43,21	56,79	43,13	56,87
12	31,44	68,56	28,24	71,76
13	19,07	80,93	20,50	79,50
14	38,85	61,15	43,75	56,25
15	21,19	78,81	20,60	79,40
16	34,93	65,07	35,88	64,12
17	19,81	80,19	19,53	80,47
18	41,97	58,03	34,40	65,60
19	32,83	67,17	29,92	70,08
20	39,45	60,55	36,56	63,44
21	36,91	63,09	37,01	62,99
22	23,78	76,22	24,31	75,69
23	38,64	61,36	40,99	59,01
24	46,17	53,83	44,42	55,58
25	40,62	59,38	41,05	58,95
26	30,35	69,65	30,35	69,65
27	38,62	61,38	39,13	60,87
28	22,65	77,35	23,31	76,69
29	38,96	61,04	40,98	59,02
30	45,22	54,78	47,22	52,78
31	43,58	56,42	41,67	58,33
32	31,68	68,32	31,66	68,34
33	27,50	72,50	28,36	71,64
34	38,65	61,35	36,70	63,30
35	35,43	64,57	34,11	65,89
36	40,69	59,31	41,70	58,30

Anexo 6 – Desenho em formato DWG. (no cd)

## Anexo 7 – Volume teórico das toras e da madeira e a eficiência teórica do desdobro

Diâmetro (cm)	Volume Tora cm <sup>3</sup>					Volume Madeira cm <sup>3</sup>					Eficiência da madeira				
	100,00%	5,00%	10,00%	20,00%	30,00%	100,00%	5,00%	10,00%	20,00%	30,00%	100%	5%	10%	20%	30%
25	147262,16	146894,00	145789,53	141371,67	134008,56	106630,77	105880,77	103630,77	97630,77	88630,77	0,72	0,72	0,71	0,69	0,66
30	212057,50	211527,36	209936,93	203575,20	192972,33	150933,07	149973,07	145533,07	140133,07	123933,07	0,71	0,71	0,69	0,69	0,64
32	241274,32	240671,13	238861,57	231623,34	219559,63	172684,83	170764,83	168844,83	157324,83	143884,83	0,72	0,71	0,71	0,68	0,66
34	272376,08	271695,14	269652,32	261481,04	247862,24	204852,91	202812,91	200772,91	188532,91	174252,91	0,75	0,75	0,74	0,72	0,70
36	305362,81	304599,40	302309,18	293148,29	277880,15	232179,65	231099,65	225699,65	214899,65	199779,65	0,76	0,76	0,75	0,73	0,72
38	340234,48	339383,90	336832,14	326625,11	309613,38	259205,10	256925,10	254645,10	240965,10	218165,10	0,76	0,76	0,76	0,74	0,70
40	376991,12	376048,64	373221,21	361911,47	343061,92	289647,78	287247,78	284847,78	270447,78	246447,78	0,77	0,76	0,76	0,75	0,72
42	415632,71	414593,63	411476,38	399007,40	378225,76	319246,97	316726,97	311686,97	294046,97	273886,97	0,77	0,76	0,76	0,74	0,72
44	456159,25	455018,86	451597,66	437912,88	415104,92	346704,32	345384,32	338784,32	320304,32	291264,32	0,76	0,76	0,75	0,73	0,70
46	498570,75	497324,33	493585,05	478627,67	453699,39	380244,18	377484,18	374724,18	358164,18	330564,18	0,76	0,76	0,76	0,75	0,73
48	542867,21	541510,04	537438,54	521152,52	494009,16	413739,13	410859,13	405099,13	384939,13	353259,13	0,76	0,76	0,75	0,74	0,72
50	589048,62	587576,00	583158,14	565486,68	536034,25	457690,42	456190,42	448690,42	427690,42	394690,42	0,78	0,78	0,77	0,76	0,74
52	637114,99	635522,20	630743,84	611630,39	579774,64	497574,18	494454,18	488214,18	466374,18	422694,18	0,78	0,78	0,77	0,76	0,73
54	687066,31	685348,65	680195,65	659583,66	625230,35	540427,15	537187,15	530707,15	501547,15	462667,15	0,79	0,78	0,78	0,76	0,74
56	738902,59	737055,34	731513,57	709346,49	672401,36	582298,82	578938,82	572218,82	548698,82	501658,82	0,79	0,79	0,78	0,77	0,75
58	792623,83	790642,27	784697,59	760918,87	721287,68	620425,82	616945,82	609985,82	578665,82	536905,82	0,78	0,78	0,78	0,76	0,74
60	848230,02	846109,44	839747,72	814300,82	771889,32	665928,06	662328,06	651528,06	622728,06	579528,06	0,79	0,78	0,78	0,76	0,75
62	905721,16	903456,86	896663,95	869492,32	824206,26	710841,94	707121,94	699681,94	666201,94	610401,94	0,78	0,78	0,78	0,77	0,74
64	965097,26	962684,52	955446,29	926493,37	878238,51	755000,90	749240,90	743480,90	701240,90	651320,90	0,78	0,78	0,78	0,76	0,74
66	1026358,32	1023792,42	1016094,74	985303,99	933986,07	809980,26	806020,26	794140,26	762460,26	703060,26	0,79	0,79	0,78	0,77	0,75
68	1089504,33	1086780,57	1078609,29	1045924,16	991448,94	867271,15	863191,15	850951,15	818311,15	744871,15	0,80	0,79	0,79	0,78	0,75
70	1154535,30	1151648,96	1142989,95	1108353,89	1050627,12	922204,63	915904,63	909604,63	863404,63	808804,63	0,80	0,80	0,80	0,78	0,77
90	1908517,54	1903746,24	1889432,36	1832176,84	1736750,96	1538634,38	1530534,38	1511634,38	1440927,42	1327273,94	0,81	0,80	0,80	0,79	0,76
110	2850995,33	2843867,84	2822485,38	2736955,52	2594405,75	2307709,06	2297809,06	2274709,06	2175709,06	2010709,06	0,81	0,81	0,81	0,79	0,78
130	3981968,69	3972013,77	3942149,00	3822689,94	3623591,51	3230905,64	3219205,64	3176305,64	3059305,64	2833105,64	0,81	0,81	0,81	0,80	0,78