
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA

PRISCILA PASTI BARBOSA

**ANÁLISE DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DA CADEIA TÊXTIL DO
ALGODÃO NO ESPAÇO URBANO-INDUSTRIAL: UMA APLICAÇÃO
DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA**

MARINGÁ
2012

PRISCILA PASTI BARBOSA

**ANÁLISE DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DA CADEIA TÊXTIL DO
ALGODÃO NO ESPAÇO URBANO-INDUSTRIAL: UMA APLICAÇÃO
DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana.

Orientador: Prof. Dr. Evaristo Atêncio Paredes

Co-orientador: Prof. Dr. Generoso De Angelis Neto

MARINGÁ

2012

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá – PR., Brasil)

B238a Barbosa, Priscila Pasti
Análise dos impactos ambientais da cadeia têxtil do algodão no espaço urbano-industrial : uma aplicação da avaliação do ciclo de vida / Priscila Pasti Barbosa. -- Maringá, 2012.
118 f. : il. color.

Orientador: Prof. Dr. Evaristo Atencio Paredes.
Co-orientador: Prof. Dr. Generoso De Angelis Neto.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, 2012.

1. Avaliação do ciclo de vida (ACV) - Algodão. 2. Simapro 7.3. I. Paredes, Evaristo Atencio, orient. II. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana. III. Título.

CDD 22. ed. 711.4

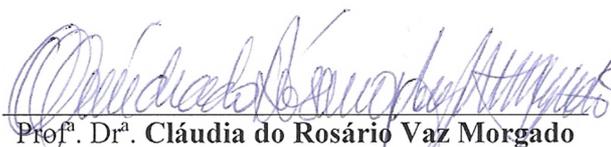
masa-000292

PRISCILA PASTI BARBOSA

AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS DA CADEIA TÊXTIL
DO ALGODÃO NO ESPAÇO URBANO-INDUSTRIAL: UMA
APLICAÇÃO DA ANÁLISE DO CICLO DE VIDA

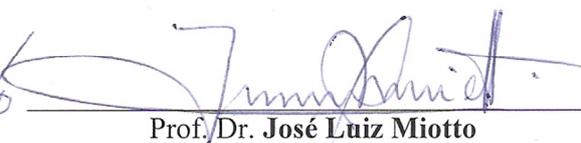
Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Maringá, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, na área de concentração Infra-estrutura e Sistemas Urbanos, para obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 18 de abril de 2012.



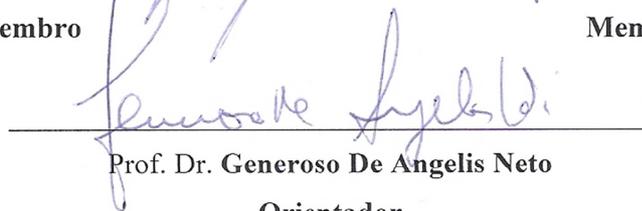
Prof. Dr. Cláudia do Rosário Vaz Morgado

Membro



Prof. Dr. José Luiz Miotto

Membro



Prof. Dr. Generoso De Angelis Neto

Orientador

AGRADECIMENTOS

Este trabalho não poderia ser terminado sem a ajuda de diversas pessoas às quais presto a minha homenagem:

Agradeço primeiramente a Deus e à minha família pelo apoio, incentivo e amor incondicional.

Ao meu orientador, prof. Dr. Evaristo Atêncio Paredes e co-orientador prof. Dr. Generoso De Angelis Neto, pela amizade, empenho e dedicação na orientação deste trabalho.

Aos demais professores do programa, pelas suas contribuições; e ao secretário do programa, Douglas, pela amizade e prontidão em todas as necessidades desta pesquisa.

Ao prof. Dr. Sebastião Roberto Soares da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), pelo seu apoio e prontidão em nos ajudar com o *software* utilizado na pesquisa.

Ao Vamilson Prudêncio da Silva Junior, orientando de doutorado do prof. Sebastião e profissional da empresa EPAGRI, pela grande ajuda e contribuições dadas a este trabalho.

A Taís, pela ajuda e apoio durante toda a pesquisa.

A todos os amigos do PEU, pelas trocas de informações, ajuda e trabalhos realizados em conjunto.

À Cocamar Cooperativa Agroindustrial, em especial à Indústria de Fios Têxteis, pela oportunidade de desenvolver esta pesquisa.

À CAPES, pela bolsa de estudos, que muito ajudou neste período de dedicação ao mestrado.

Muito obrigada a todos!

“A persistência é o menor caminho do êxito”.
(Charles Chaplin)

RESUMO

Atualmente um dos paradigmas é a questão ambiental, principalmente no setor industrial. O processo produtivo do algodão possui um potencial de poluição elevado, desde a obtenção da matéria-prima até a disposição final de seus produtos. Com o objetivo de contribuir para o desenvolvimento sustentável foi desenvolvida a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Essa ferramenta de gestão ambiental permite avaliar os aspectos ambientais e impactos potenciais associados a um produto ou processo, analisando diversas etapas que vão desde a extração de matérias-primas da natureza (berço), até a disposição do produto final no ambiente (túmulo). A fase de Análise de Impacto do Ciclo de Vida (AICV) é uma das mais importantes para a interpretação dos resultados da ACV. É realizada mediante o uso de métodos de avaliação, os quais consideram impactos ambientais globais e/ou relativos a regiões específicas. Um dos métodos mais atuais é o RECIPE, sucessor do método Eco Indicador 99 e CML, que neste estudo foi usado em conjunto com o método CED (Demanda de Energia Acumulada). Tais métodos utilizam etapas de distribuição de pesos que resultam em um número indicador de impacto ambiental de um produto ou processo baseado em dados de uma avaliação do ciclo de vida. Para esses cálculos fez-se uso do programa de computador Simapro 7.3, uma ferramenta profissional capaz de modelar e analisar os complexos ciclos de vida, de modo sistemático e transparente. O principal objetivo do presente trabalho foi o uso da ferramenta ACV para a realização de um diagnóstico de impactos ambientais de parte da cadeia têxtil do algodão, envolvendo as etapas de plantio e descaroçamento do algodão e fiação. Foi seguida a metodologia da ACV com o uso do *software* Simapro 7.3. Como resultado obteve-se a ACV de parte da cadeia têxtil do algodão no Brasil, conseqüentemente o inventário do processo em questão adaptado à realidade brasileira. Para análise do inventário utilizou-se os métodos RECIPE midpoint e CED. Os resultados obtidos pelo método RECIPE demonstraram que a obtenção da matéria-prima plumas de algodão (MP) é quem apresenta maiores valores significativos de potencialidades de impacto. Na contribuição relativa de demanda de energia acumulada, também a etapa da obtenção de MP foi a que mais contribuiu para os impactos na categoria de recursos energéticos não renováveis fósseis, enquanto que eletricidade obteve o maior percentual de impacto na categoria de recursos energéticos renováveis - água. O trabalho alcançou uma primeira estimativa condizente, não negligenciando as limitações do estudo. Limitações estas referentes à base de dados, quase sempre internacionais, adaptados ao máximo às condições brasileiras.

Palavras-Chave: Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Algodão. Simapro 7.3.

ABSTRACT

Currently one of the paradigms is the environmental issue, especially in the industrial sector. The production process of cotton has a high pollution potential, from the attainment of the raw material to final disposal of their products. Aiming to contribute to sustainable development was developed Life Cycle Analysis (LCA). This environmental management tool allows to evaluate the environmental aspects and potential impacts associated with a product or process, analyzing various stages ranging from the extraction of raw materials of nature (birth), to the provision of the final product on the environment (grave). The period of Life Cycle Impact Assessment (LCIA) is one of the most important for the interpretation of LCA results. It is performed through the use of assessment methods, which consider the environmental impacts global and/or relatives for specific regions. One of the most current method is the RECIPE successor method Eco-indicator 99 and CML-AI that in this study was used in conjunction with the method CED (cumulative energy demand). Such methods using steps weight distributions that result in a number indicator of environmental impact of a product or process based on data of an cycle life analysis. For these calculations were used the computer program Simapro 7.3, a professional tool able to model and analyze complex life cycles, in a systematic and transparent way. The main objective of this study was the use of LCA tool for performing a diagnostic of the environmental impacts of part of the cotton textile chain, involving the steps of planting and cotton ginning and spinning. It was followed then the methodology of LCA using the software Simapro 7.3. As a result we obtained the LCA part of the cotton textile chain in Brazil, hence the inventory process in question adapted to Brazilian reality. For analysis of the inventory was used methods RECIPE midpoint and CED. The results obtained by the method RECIPE demonstrated that obtaining the raw material: cotton feather (MP) who has the greatest potential for significant amounts of impact. In the relative contribution of cumulative energy demand, also the step of obtaining MP was the largest contributor to the impacts in the category of non-renewable fossil energy resources, while electricity had the highest percentage impact in the category of renewable energy resources – water. The work reached an estimated first match, not neglecting the study's limitations. These limitations relating to the database, usually international adapted to the maximum Brazilian conditions.

Key words: Life Cycle Assessment (LCA). Cotton. Simapro 7.3.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - OFERTA E DEMANDA MUNDIAL DE ALGODÃO EM PLUMA.....	23
FIGURA 2 - DINÂMICA DAS ÁREAS DA CULTURA DO ALGODÃO NO CENÁRIO DE 2010/2030.....	24
FIGURA 3 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO NÚMERO DE INDÚSTRIAS TÊXTEIS NO BRASIL.....	27
FIGURA 4 - MAPA COM A LOCALIZAÇÃO DAS INDÚSTRIAS TÊXTEIS NA CIDADE DE MARINGÁ	28
FIGURA 5 - CADEIA TÊXTIL	29
FIGURA 6 - PROCESSO DE FIAÇÃO	29
FIGURA 7 - PROCESSO DE TECELAGEM.....	30
FIGURA 8 - PROCESSO DE TINGIMENTO.....	31
FIGURA 9 - PROCESSO DE ESTAMPARIA	31
FIGURA 10 - PROCESSO DE ACABAMENTO	32
FIGURA 11 - PROCESSO DE CONFECÇÃO	32
FIGURA 12 - FLUXO GENÉRICO DA PRODUÇÃO TÊXTIL DO ALGODÃO	33
FIGURA 13 - COLHEITA DO ALGODÃO	34
FIGURA 14 - COLHEITA MECANIZADA E MANUAL DO ALGODÃO	35
FIGURA 15 - PROCESSO DE BENEFICIAMENTO DO ALGODÃO	36
FIGURA 16 - ETAPAS DO PROCESSO DE FIAÇÃO DO FIO PENTEADO.....	38
FIGURA 17 - ETAPAS DO PROCESSO DE FIAÇÃO DO FIO CARDADO	38
FIGURA 18 - ETAPAS DO PROCESSO DE FIAÇÃO DO FIO CARDADO <i>OPEN-END</i>	39
FIGURA 19 - SALA DE ABERTURA	39
FIGURA 20 - PROCESSO DE CARDA.....	39
FIGURA 21 - PASSADEIRA.....	40
FIGURA 22 - PROCESSO FILATÓRIO POR ANEL	41
FIGURA 23 - PROCESSO FILATÓRIO <i>OPEN-END</i>	41
FIGURA 24 - BOBINA DE FIOS DE ALGODÃO	42
FIGURA 25 - IMPUREZAS EXISTENTES NAS PLUMAS DE ALGODÃO	43
FIGURA 26 - PRINCIPAIS ESTÁGIOS DO CICLO DE VIDA DE UM PRODUTO.....	48
FIGURA 27 - FASES DE UMA ACV	51

FIGURA 28 - ETAPAS PARA A DEFINIÇÃO DO OBJETIVO E DO ESCOPO DA ACV	53
FIGURA 29 - ETAPAS REALIZAÇÃO DO INVENTÁRIO	55
FIGURA 30 - ETAPAS PARA ANÁLISE DE IMPACTO	57
FIGURA 31 - BIBLIOTECAS CONTEMPLADAS NO SOFTWARE SIMAPRO.....	61
FIGURA 32 – PROCESSOS E PRODUTOS ABERTOS NO SIMAPRO.....	62
FIGURA 33 - LOCALIZAÇÃO DA INDÚSTRIA DE ESTUDO NA CIDADE DE MARINGÁ	75
FIGURA 34 – FRONTEIRAS DO ESTUDO.....	79
FIGURA 35 – MACROPROCESSOS	80
FIGURA 36 - PARTICIPAÇÃO DOS PROCESSOS NAS CATEGORIAS DE IMPACTO ANALISADAS PELO MÉTODO RECIPE.....	88
FIGURA 37 - PARTICIPAÇÃO DOS PROCESSOS NAS CATEGORIAS DE IMPACTO ANALISADAS PELO MÉTODO CED	90
FIGURA 38 - GRÁFICO DA CATEGORIA MUDANÇA CLIMÁTICA	92
FIGURA 39 - GRÁFICO DA CATEGORIA DEPLEÇÃO DO OZÔNIO	94
FIGURA 40 - EMISSÕES PARA O AR NA PRODUÇÃO DE MATÉRIA-PRIMA	94
FIGURA 41 - GRÁFICO DA CATEGORIA FORMAÇÃO DE OXIDANTES FOTOQUÍMICOS	95
FIGURA 42 - FORMAÇÃO DE MATERIAL PARTICULADO	96
FIGURA 43 - GRÁFICO DA CATEGORIA TOXICIDADE À SAÚDE HUMANA.....	98
FIGURA 44 - GRÁFICO DA CATEGORIA ACIDIFICAÇÃO TERRESTRE	99
FIGURA 45 - GRÁFICO DA CATEGORIA EUTROFIZAÇÃO DE ÁGUA DOCE	100
FIGURA 46 - GRÁFICO DA CATEGORIA ECOTOXICIDADE TERRESTRE	101
FIGURA 47 - GRÁFICO DA CATEGORIA ECOTOXICIDADE DE ÁGUA DOCE.....	101
FIGURA 48 – ESPECIFICAÇÃO POR SUBSTÂNCIA DA CATEGORIA DE ECOTOXICIDADE TERRESTRE	102
FIGURA 49 - ESPECIFICAÇÃO POR SUBSTÂNCIA DA CATEGORIA ECOTOXICIDADE DE ÁGUA DOCE	102
FIGURA 50 - GRÁFICO DA CATEGORIA DEPLEÇÃO FÓSSIL	103
FIGURA 51 - GRÁFICO DA CATEGORIA DE ENERGIA NÃO RENOVÁVEL - FÓSSIL.....	103
FIGURA 52 – GRÁFICO DA CATEGORIA DE ENERGIA RENOVÁVEL – ÁGUA.....	104
FIGURA 53 - PERCENTUAL DE IMPACTO POR PROCESSOS.....	105

FIGURA 54 - POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL (GWP) PARA 100 ANOS 107

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - ÁREA PLANTADA E IRRIGADA NO BRASIL POR REGIÃO.....	21
TABELA 2 - CONSUMO DE MATÉRIA-PRIMA DA FIAÇÃO CONVENCIONAL NO MÊS DE JULHO/2010. .	81
TABELA 3 - RESÍDUOS SÓLIDOS PRODUZIDOS NA FIAÇÃO CONVENCIONAL EM JULHO/2010.	81
TABELA 4 - TRANSPORTE DE MATÉRIA-PRIMA.	82
TABELA 5 - ENTRADAS E SAÍDAS DO PROCESSO DE FIAÇÃO.....	84
TABELA 6 - CONTRIBUIÇÃO DOS PROCESSOS PARA OS IMPACTOS AMBIENTAIS: MÉTODO RECIPE - VALORES ABSOLUTOS.	86
TABELA 7 - CONTRIBUIÇÃO DOS PROCESSOS PARA OS IMPACTOS AMBIENTAIS: MÉTODO RECIPE – PERCENTUAL.....	87
TABELA 8 - CONTRIBUIÇÃO DOS PROCESSOS PARA OS IMPACTOS AMBIENTAIS: MÉTODO CED – VALORES ABSOLUTOS	89
TABELA 9 - CONTRIBUIÇÃO DOS PROCESSOS PARA OS IMPACTOS AMBIENTAIS: MÉTODO CED – PERCENTUAL.....	89

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1- QUANTIFICAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS	45
QUADRO 2 - DIFERENÇAS ENTRE UNIDADE DE PROCESSO E SISTEMA DE PROCESSO	64

LISTA DE SÍGLAS E SÍMBOLOS

ABIT - Associação Brasileira da Indústria Têxtil

ACV - Avaliação do Ciclo de Vida

AICV – Análise do Inventário do Ciclo de Vida

AMF - Acordo Multifibras

ATMI - American Textile Manufactures Institute

Ca - cálcio

CARMEN - Cause Effect Relation Model to support Environmental Negotiations

CED - Cumulative Energy Demand (Demanda de Energia Acumulada)

CFC⁻¹¹ - Triclorofluorometano

CO₂ - dióxido de carbono

COAGEL - Cooperativa Agropecuária de Goioerê

COAMO - Cooperativa Agropecuária de Campo Mourão

COCAMAR - Cooperativa de Cafeicultores Agropecuaristas de Maringá

COCARI - Cooperativa de Cafeicultores de Mandaguari

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

COOPAGRO - Cooperativa Agropecuária Mista do Oeste

COPAGRA - Cooperativa Agrária dos Cafeicultores de Nova Londrina

GEE - Gases de Efeito Estufa

GWP - Global WarmingPotential

H - hidrogênio

H⁺ - íons de hidrogênio

HTPs - HumanToxicityPotentials

IAPAR - Instituto Agrônômico do Paraná

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IMEA - Instituto Mato-Grossense de Economia Agropecuária

INETI - Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change

ISO - International Organization for Standardization

ITAL - Instituto Técnico de Alimentação

K - potássio

Mg - magnésio

Na - sódio

NO_x - óxidos de nitrogênio

ODP - Ozone Depletion Potential (Depleção da camada de ozônio)

OMS - Organização Mundial de Saúde

PIB - Produto Interno Bruto

RQD - Requisitos de Qualidade dos Dados

SANBRA - Sociedade Algodoeira do Nordeste Brasileiro

SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às micro e pequenas Empresas

SETAC - Society for Environmental Toxicology and Chemistry

SO₂ - dióxido de enxofre

TAP - Terrestrial Acidification Potential (Potenciais de acidificação Terrestre)

USDA - United States Department of Agriculture (Departamento de Agricultura dos Estados Unidos)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	OBJETIVOS	17
1.1.1	<i>Geral</i>	17
1.1.2	<i>Específicos</i>	17
2	ALGODÃO	18
2.1	HISTÓRIA	18
2.2	ASPECTOS AGRONÔMICOS	19
2.3	MERCADO BRASILEIRO DO ALGODÃO	22
3	INDÚSTRIA TÊXTIL BRASILEIRA	25
3.1	EMPRESAS DO SETOR E DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA	26
3.2	CARACTERIZAÇÃO GERAL DO PROCESSO PRODUTIVO TÊXTIL	28
3.3	PROCESSO PRODUTIVO DE TÊXTEIS DE ALGODÃO	33
3.3.1	<i>Cotonicultura</i>	33
3.3.2	<i>Algodoeira</i>	35
3.3.3	<i>Fiação</i>	37
3.4	RESÍDUOS SÓLIDOS TÊXTEIS	42
3.5	QUANTIFICAÇÃO	44
3.6	IMPACTOS AMBIENTAIS DO SETOR TÊXTIL	46
4	AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA	48
4.1	HISTÓRICO E DEFINIÇÕES	48
4.2	NORMAS	50
4.3	FASES	51
4.3.1	<i>Objetivo e Escopo</i>	51
4.3.2	<i>Análise do Inventário</i>	55
4.3.3	<i>Análise do Impacto Ambiental</i>	56
4.3.4	<i>Interpretação</i>	58
4.3.5	<i>Análise de sensibilidade e incerteza</i>	58

5	DETALHAMENTO DO SOFTWARE SIMAPRO	60
5.1	BASE DE DADOS	60
5.2	BIBLIOTECAS	61
5.3	QUALIDADE DOS DADOS	62
5.4	DEFINIÇÃO DE OBJETIVO E ESCOPO	63
5.5	CRITÉRIOS DE CORTE DENTRO DO SISTEMA	63
5.6	UNIDADE DE PROCESSO E SISTEMA DE PROCESSO	64
5.7	MÉTODOS DE ANÁLISE DE IMPACTO	64
5.7.1	<i>Recipe</i>	66
5.7.2	<i>Demanda de Energia Acumulada</i>	73
6	METODOLOGIA	75
7	APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE ACV NO ESTUDO DE CASO	78
7.1	DEFINIÇÃO DO OBJETIVO E ESCOPO DO PROJETO	78
7.2	PROCESSO PRODUTIVO	80
7.2.1	<i>Cotonicultura e Algodoeira</i>	80
7.2.2	<i>Fiação</i>	80
7.2.3	<i>Transporte</i>	82
7.3	ANÁLISE DO INVENTÁRIO	82
7.4	ANÁLISE DE IMPACTO	84
7.5	INTERPRETAÇÃO	91
7.5.1	<i>Método Recipe Midpoint (E)</i>	91
7.5.2	<i>Método Demanda de energia acumulada (CED)</i>	103
7.5.3	<i>Conclusões da ACV</i>	105
7.5.4	<i>Efeitos dos impactos ambientais no espaço urbano-industrial</i>	108
8	CONCLUSÕES	110
9	REFERÊNCIAS	112

1 INTRODUÇÃO

Durante muito tempo as indústrias não se preocupavam com a destinação final de seus resíduos gerados no processo produtivo e falava-se muito pouco em desenvolvimento sustentável. Nos dias atuais, devido ao grande crescimento e diversificação industrial, a grande preocupação em escala global se dá pela inter-relação entre as atividades industriais modernas e a decorrente exploração dos recursos naturais, tendo-se em vista a escassez destes.

Dessa forma, as empresas passaram a investir altos valores a fim de remediar os danos ao meio ambiente e à saúde humana, principalmente em função dos prejuízos causados às empresas tanto no contexto da responsabilidade social e ambiental como em suas imagens públicas.

Os problemas ambientais e econômicos não podem ser abordados isoladamente, visto que são aspectos que interagem entre si, sendo dependentes uns dos outros. Com isso, a necessidade de aplicação de ferramentas de controle ambiental se torna indispensável para o setor industrial.

Tais preocupações têm surgido principalmente nos setores cujo produto final pode provocar impactos diretos no equilíbrio dos ecossistemas. Dentre esses setores está a Indústria Têxtil.

O setor têxtil é um dos mais importantes da economia brasileira, congrega mais de 30 mil empresas e emprega aproximadamente 1,5 milhões de trabalhadores. Na produção de fios e filamentos o Brasil ocupa a 7^o posição no mundo.

No entanto, as indústrias do setor têxtil que atuam no país possuem diferentes níveis de amadurecimento no que se refere aos cuidados e às práticas ambientais.

A análise de impacto ambiental no Brasil passou a ser aplicada como um instrumento de execução da Política Nacional de Meio Ambiente. Nesse sentido, têm surgido novas ferramentas de gestão, no intuito de apoiar os diversos setores produtivos na identificação das fontes de contaminação de seus processos e avaliar seus efeitos sobre o ambiente.

Neste estudo, destaca-se a metodologia da avaliação do ciclo de vida – ACV. Nesta metodologia, internacionalmente aceita, são definidas quatro etapas básicas na execução de uma ACV: definição de objetivo e escopo, análise de inventário, análise de impacto e interpretação.

Essa metodologia enfoca os aspectos e os impactos ambientais potenciais, como uso de recursos naturais, incluindo o solo e as consequências de liberações para o meio ambiente, desde a aquisição de matérias-primas, produção, uso, tratamento pós-uso, reciclagem até a disposição final.

Assim sendo, este trabalho visa contribuir com a elaboração do inventário das fases de cotonicultura (algodão em caroço), algodoeira (fardo de algodão em pluma) e fiação e com o diagnóstico dos impactos ambientais oriundos dessas etapas.

Este estudo foi realizado com a ajuda do banco de dados do *software* Simapro para as etapas de cotonicultura e algodoeira e com o auxílio da Cocamar Cooperativa Agroindustrial de Maringá na etapa de fiação, com o objetivo de identificar os pontos na cadeia produtiva geradores de maior impacto ambiental.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Geral

Realizar o diagnóstico de impactos ambientais das etapas: cotonicultura, algodoeira e fiação do algodão, com o uso da ferramenta ACV para elaboração do inventário do ciclo de vida no Brasil.

1.1.2 Específicos

- Identificar a etapa da cadeia têxtil do algodão de maior impacto ambiental;
- Avaliar os danos à saúde, à qualidade do ecossistema, aos recursos naturais e combustíveis fósseis devido ao plantio, descaroçamento e fiação do algodão;
- Contribuir para a base de dados da ACV.

2 ALGODÃO

2.1 HISTÓRIA

Em 1519, os navegadores portugueses que chegavam ao Brasil encontraram o algodão selvagem (*Gossypium sp*), que já era cultivado, fiado e tecido. Os índios o utilizavam para fabricar redes e algumas peças que usavam no corpo, ou, ainda, na elaboração de tochas. Com o passar do tempo, a produção de algodão no Brasil foi melhorada, com a vinda de espécies do Oriente. Trazidas pelos colonizadores portugueses, as novas variedades passaram a ser cultivadas nos estados do Norte do país (PEZZOLO, 2007).

O algodão selvagem tem sua origem na Ásia e na América. Existem aproximadamente 39 espécies de algodão, no entanto, muitas não são exploradas economicamente. Atualmente somente cinco espécies são economicamente exploradas: Egípcio, Sea Island, Asiático, Pima Americano e o American Upland, destacando-se os dois últimos. (MAPA, 2007).

Com a chegada dos colonos portugueses ao Brasil, o cultivo de algodão foi se ampliando, embora nesse período ainda predominassem a lã e o linho no mundo. Foi somente após a Revolução Industrial, no século XVIII, que o algodão se tornou a principal fibra têxtil no mundo e o produto mais importante das Américas.

No Paraná o algodão predominou após o declínio da cafeicultura. Historicamente desempenhou papel de relevância na agricultura paranaense devido à sustentação econômica que propiciou, principalmente no norte do estado (AMORIM, 2009). O estado, por meio do Instituto Agrônomo do Paraná – IAPAR,

[...] promoveu diversos projetos e atividades abrangendo inúmeros municípios da região algodoeira do Estado, visando maior produção, qualidade e produtividade da cultura [...] (SECRETÁRIA DA INDÚSTRIA E COMÉRCIO DO PARANÁ, s/d, p.5).

A maior produção paranaense de algodão foi no ano de 1985, nas quais 1.035.661 toneladas de algodão foram colhidos, cerca de 36% da produção brasileira. Entre os anos de 1980 e 1996, o Estado do Paraná ocupou o posto de maior produtor de

algodão do país, destacando-se a região norte do estado, as microrregiões de Campo Mourão, Maringá, Londrina e Jacarezinho (MASSUDA, 2005).

O beneficiamento do algodão no Paraná, na década de 60, era realizado em sua maioria por empresas privadas e de pequeno porte, o que mudou com a implantação da Sociedade Algodoeira do Nordeste Brasileiro – SANBRA, que tinha como objetivo a produção de algodão em pluma, a extração de óleo e o aproveitamento da torta de algodão ¹(MICHELON, 1999).

Na década de 1970 existiam somente duas cooperativas no ramo do beneficiamento de algodão no Estado do Paraná: a COCAMAR – Cooperativa de Cafeicultores e Agropecuaristas de Maringá, e a COPAGRA – Cooperativa Agrária dos Cafeicultores de Nova Londrina. Na década de 1980 esse número aumentou para oito cooperativas agrícolas que recebiam e beneficiavam 120,5 mil toneladas de algodão e 45 algodoieiras privadas que recebiam e beneficiavam 407,2 mil toneladas (MASSUDA, 2005).

No entanto, em 1992 essas posições se inverteram e, no ano seguinte, as cooperativas chegaram a receber 89,7% da produção paranaense (MICHELON, 1999).

Após o ano de 1993 a produção de algodão entrou em declínio, chegando a níveis inferiores às necessidades das fiações, o que desfez o projeto de constituição de uma cadeia têxtil a partir da abundância de matéria-prima, passando o Estado do Paraná da posição de exportador para importador de matéria-prima (MASSUDA, 2005).

2.2 ASPECTOS AGRONÔMICOS

A produção do algodão requer, para um ciclo de 160 dias, entre 750 mm a 900 mm de água bem distribuídos no período. Nas espécies cultivadas comercialmente, o estágio do florescimento ocorre entre 40 a 70 dias após a semeadura. Após o

¹ Torta de algodão: É o subproduto da extração do óleo contido no grão do algodão, que ao ser esmagado, é denominado de torta, sendo usada na forma obtida ou moída para fins de nutrição animal.

florescimento, a parte interna da flor desenvolve-se gradualmente por cerca de 40 a 70 dias em um fruto (capulho), com as sementes e as fibras (BELTRÃO, 1999).

O plantio do algodão exige solos férteis, notadamente em matéria orgânica, fósforo e potássio, e com teores de nutrientes equilibrados, por isso requer manejo e sistema de produção específicos, principalmente a rotação com espécies leguminosas e gramíneas. Seu cultivo em países como Brasil e Estados Unidos é mecânico. (MAPA,2007).

De acordo com Beltrão (1999), a cultura deve ser mantida livre de ervas daninhas durante todo o ciclo e, para tanto, se recorre à aplicação de herbicidas e à limpeza manual ou mecânica. As pragas que atacam o algodoeiro podem ser divididas em dois grupos (MAPA, 2007):

- As que ocorrem principalmente no estabelecimento da cultura (broca-da-raiz, tripés, broca-do-ponteiro, percevejo castanho, pulgão, cigarrinha);
- E as que ocorrem principalmente no florescimento e na frutificação (curuquerê, mosca branca, lagarta-das-maçãs, ácaro branco, percevejo rajado, bicudo, entre outros).

Dessa forma, em função da suscetibilidade a um grande número de pragas, o sistema de produção da cultura do algodão exige a aplicação de um grande volume de agrotóxicos. Além disso, o próprio sistema de produção, baseado em alta quantidade de insumos, requer a aplicação de variados produtos enquadrados na categoria dos agrotóxicos, principalmente inseticidas, herbicidas, fungicidas, reguladores de crescimento, desfolhantes, dessecantes e adjuvantes (EMBRAPA, 2003a).

Além dos aspectos citados para cultivo, a qualidade final da semente e da fibra pode ser afetada pelos procedimentos de colheita e pós-colheita, sendo recomendado que o algodão seja colhido com um teor de água na fibra máximo de 14%, devendo-se evitar colher em períodos chuvosos. A ocorrência de nebulosidade intensa também afeta negativamente a qualidade da fibra (MAPA, 2007).

Outro aspecto importante, segundo Beltrão (1999), é a eliminação na gleba de materiais estranhos, como plástico e madeira. É recomendável que, ao entrar na usina de beneficiamento, o algodão em caroço, oriundo da colheita manual ou mecanizada, esteja isento de impurezas e de contaminação por pragas e doenças.

No mundo, mais de 60% do cultivo do algodoeiro é realizado em regime de irrigação. Mesmo o algodoeiro sendo considerado uma planta resistente à seca, seu cultivo em regime de sequeiro, pode acarretar em baixa produtividade, no caso da umidade do solo não ser suficiente para atender as necessidades hídricas da planta (EMBRAPA ALGODÃO, 2003a).

No Brasil, a cotonicultura irrigada começa a ganhar espaço, pois além de garantir a estabilidade de produção da cultura, ainda possibilita ganhos de produtividade, se comparados com os da cotonicultura de sequeiro. Segundo o Embrapa Algodão (2003), a quantidade de água necessária para atender às necessidades hídricas do algodoeiro é, em média, de 700 a 1300mm, dependendo do clima e da duração do período total de crescimento.

De acordo com Mendes (1998), de uma área plantada de 54.961.850 hectares de algodão, o Brasil irriga apenas 2.208.690 hectares, o que demonstra que a irrigação no país possui um potencial imenso de crescimento e de incremento de produção, ainda a ser explorada. A Tabela 1 mostra o percentual de área irrigada plantada no Brasil por região.

Tabela 1 - Área plantada e irrigada no Brasil por região

Estados por regiões	Área em milhares de hectares		Irrigada Plantada em (%)
	Plantada	Irrigada	
Rio Grande do Sul	7.393,10	974,00	13,17
Santa Catarina	3.138,40	118,80	3,78
Paraná	7.745,70	55,00	0,70
Sub Total Sul	18.277,20	1.147,80	6,28
Rio de Janeiro	345,20	72,00	20,86
Espírito Santo	800,00	39,50	4,94
Minas Gerais	4.450,50	260,02	5,84
São Paulo	6.900,00	450,00	6,52
Sub Total Sudeste	12.495,70	821,52	6,57
Bahia	3.800,00	140,61	3,70
Sergipe	1.041,60	18,04	1,73
Alagoas	585,20	7,50	1,28
Pernambuco	1.419,80	85,00	5,98
Paraíba	1.059,10	0,76	0,07
Rio Grande do Norte	632,40	14,49	2,29

Piauí	1.500,00	18,19	1,21
Maranhão	1.874,80	40,00	2,13
Ceará	2.316,01	77,03	3,32
Sub Total Nordeste	14.228,91	401,62	2,82
Distrito Federal	222,70	9,94	4,46
Goiás	2.662,80	106,50	4,00
Mato Grosso	3.121,80	8,10	0,26
Mato Grosso do Sul	1.738,30	55,60	3,20
Sub Total Centro-Oeste	7.745,60	180,14	2,33
Acre	120,37	0,60	0,50
Amapá	3,48	0,10	2,87
Amazonas	75,88	1,20	1,58
Pará	965,71	6,26	0,65
Rondônia	801,37	0,10	0,01
Roraima	27,23	5,00	18,36
Tocantins	220,40	65,10	29,54
Sub Total Norte	2.214,44	78,36	3,54
Subtotal Brasil	54.961,85	2.629,44	4,78
Brasil	52.007,20	2.940,00	5,65

Fonte: DNEI – ABIMAQ, 1998.

Por fim, a operação de beneficiamento do algodão consiste em separar a fibra das sementes, por meio de processos mecânicos, em que se retira o caroço, obtendo-se fibras limpas e prontas para a fiação. O produto resultante deste processo é o algodão em pluma.

Os processos de colheita e beneficiamento do algodão serão detalhados no capítulo 3 (Processo Produtivo de Têxteis de Algodão).

2.3 MERCADO BRASILEIRO DO ALGODÃO

Segundo o IBGE, o Brasil é o quinto produtor mundial de algodão, atrás de China, Índia, Estados Unidos e Paquistão. A cultura do algodão é feita hoje em todo o país.

Após o ano de 1999, o mercado de fibras de algodão obteve o equilíbrio. A retomada no crescimento da indústria têxtil e de confecções, junto à expansão da produção, consumo e preço, gerou um cenário positivo para o setor. O desempenho favorável da economia mundial nos anos de 2003 e 2004 também implicou em mais aumento para a produção e consumo de têxteis e vestuários, o que favoreceu tanto a produção quanto o consumo de fibras de algodão nesses anos (PEZZOLO, 2007).

O USDA – *United States Department of Agriculture*, divulgou que a safra 2011/12 de algodão em pluma começará com estoques mais altos, sendo em torno de 2,2% maior que em 2010/11. A situação da safra para o ano de 2012 é reflexo da

produção mundial, que atingiu 25.099 mil toneladas na safra anterior, com aumento de 13,4% em relação a 2009, quando foram produzidas 22.127 mil toneladas, como mostra Figura 1 (IMEA, 2011).

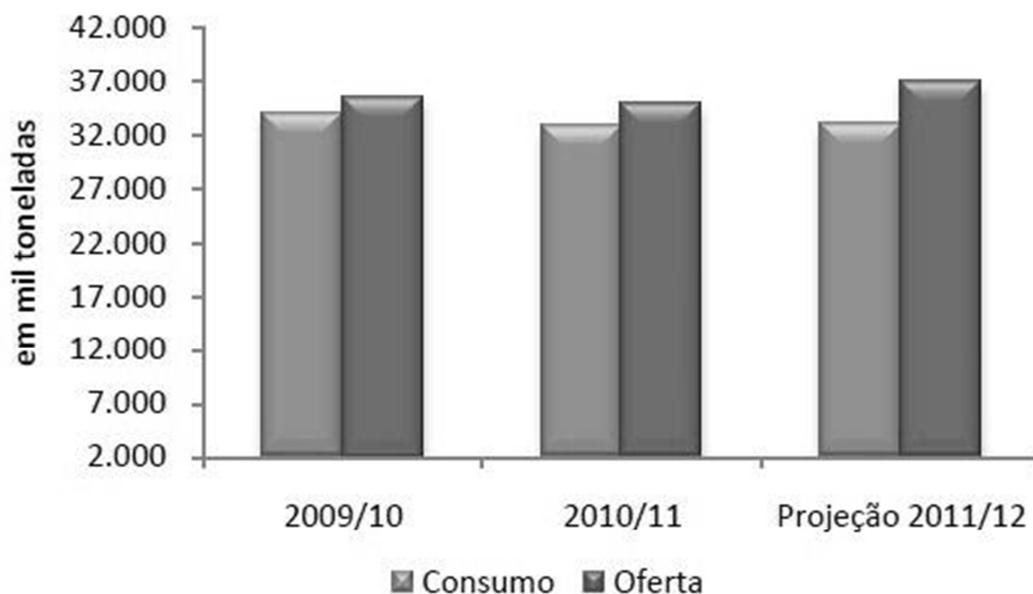


Figura 1 - Oferta e demanda mundial de algodão em pluma
Fonte: IMEA, 2011

O IMEA – Instituto Mato-Grossense de Economia Agropecuária estima que em 2012 a produção mundial de algodão em pluma cresça 7,4%. Um aumento considerado moderado, decorrente dos estoques altos.

Atualmente, o algodão responde por aproximadamente 80% das fibras utilizadas nas fiações brasileiras. Na tecelagem, 65% dos tecidos são produzidos a partir de fios de algodão, enquanto que na Europa gira em torno de 50% (MAPA, 2007).

De acordo com o IMEA, em 2012, o consumo per capita de algodão no Brasil deverá ser 4,3 kg, enquanto que no mundo este consumo deverá ser de apenas 3,3 kg. Dentre todas as fibras utilizadas pela indústria têxtil, 60% provêm do algodão, enquanto que no mundo esta participação cai para 36%, segundo a ABIT- Associação Brasileira da Indústria Têxtil.

O Banco Mundial (2010), realizou uma estimativa dos avanços do plantio do algodão no Brasil até o ano de 2030, no qual, contatou um elevado dinamismo espacial. De acordo com o relatório, as áreas que tiveram seu dinamismo constante entre 2010 e

2030 se concentraram no sudoeste do estado do Mato Grosso. Já em relação a expansão do cultivo, foi possível perceber áreas extensas no sudoeste da Bahia e sudoeste do Mato Grosso. No oeste dos estados da Bahia e Mato Grosso, notou-se manchas de retração do algodão, como mostra a Figura 2.



Figura 2 - Dinâmica das áreas da cultura do algodão no cenário de 2010/2030
Fonte: BANCO MUNDIAL, 2010

3 INDÚSTRIA TÊXTIL BRASILEIRA

O processo de industrialização no Brasil teve seu início com a indústria têxtil. Suas raízes antecedem a chegada dos portugueses ao país, pois os índios que aqui habitavam já exerciam atividades artesanais, utilizando-se de técnicas primitivas de entrelaçamento manual de fibras vegetais e produzindo telas grosseiras para várias finalidades, incluindo vestimentas.

As primeiras fábricas têxteis brasileiras datam da metade do século XIX, para a transformação do algodão nordestino que era até então exportado. Entretanto, apenas no final da década iniciada em 1860, com a expansão cafeeira do Rio de Janeiro e depois em São Paulo, é que ocorreu o maior desenvolvimento da indústria têxtil (URBAN *et al.*, 1995).

Na segunda metade do século XX a indústria mundial de têxteis e vestuário e o mercado mundial de fibras de algodão tiveram suas dinâmicas pautadas por acordos. Um exemplo deles foi o Acordo Multifibras² (AMF), de caráter multilateral, em 1974. Enquanto que os países asiáticos foram beneficiados, o Brasil acabou prejudicado (MAPA, 2007).

No início dos anos 90, a economia brasileira sofreu importantes transformações no cenário econômico que levaram a alterações nas características da produção industrial interna. Uma das políticas adotadas foi a abertura comercial, que para o setor têxtil provocou impactos consideráveis em relação ao comércio exterior, principalmente nas importações de bens de capital e insumos, no preço interno e na qualidade dos principais produtos têxteis comercializados (DIAS, 2007).

A eliminação completa do Acordo Multifibras acarretou na redução dos preços dos produtos finais, em razão tanto da eliminação das distorções de mercado como do deslocamento da indústria para países que operavam com custos mais baixos. A queda dos preços contribuiu para elevar o consumo relativo nos países menos desenvolvidos e estimular a demanda de fios de algodão (MAPA, *op. cit.*).

² O AMF impunha quotas de importação de fibras de algodão e de exportação de têxteis e vestuários aos países em desenvolvimento.

Esse crescimento representou para o Brasil uma oportunidade, dados a maior capacidade de inovação e progressos no *design* da indústria brasileira. Cabe ressaltar que esse setor representa cerca de 15% do emprego mundial e 8% dos bens manufaturados comercializados no mundo (GEREFFI; MEMEDOVIC, 2003).

3.1 EMPRESAS DO SETOR E DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA

Nos anos de 1982 e 1983 houve um salto no consumo do algodão em pluma, o que resultou na implantação da fiação da COCAMAR. Além desta, no ano de 1986, outras quatro fiações de algodão surgiram no Paraná: COAMO – Cooperativa Agropecuária de Campo Mourão, COAGEL – Cooperativa Agropecuária de Goioerê, COCARI – Cooperativa de Cafeicultores de Mandaguari, e a COOPERFIOS, resultado da formação de consórcio entre as quatro cooperativas citadas e a COOPAGRO – Cooperativa Agropecuária Mista do Oeste para o processamento conjunto de resíduos de suas fiações (MASSUDA, 2005).

No início da década de 90, a COCAMAR lançava a ideia de condomínios industriais com o intuito de avançar para a tecelagem de fios. Abrangia todos os municípios da área de atuação das cooperativas, de tal forma que serviria de estímulo a atividades industriais consideradas inviáveis em pequena escala. No entanto, tal ideia não encontrou repercussão (PORTO, 1991).

No ano de 1997, por meio da Lei 11.720, foi criado oficialmente o polo têxtil em Maringá. Entretanto, tanto no Município de Maringá como em Cianorte, ocorreu a proliferação de indústrias de confecção (MAIA, 1994).

Entre os anos de 1990 e 1996, de acordo com o SEBRAE (2001), o setor de confecção teve seu número de estabelecimentos formalmente constituídos aumentado de 15.369 para 18.038. Nesse mesmo período, o setor também teve um aumento em sua produção de 50%.

Já Campos (2004) destaca a maior concentração de indústrias têxteis no país, que se encontra nas Regiões Sudeste e Sul.

A Figura 3 mostra claramente a concentração de indústrias têxteis no Brasil. A maior concentração está em São Paulo, seguida de Santa Catarina, Minas Gerais, Ceará e Paraná.

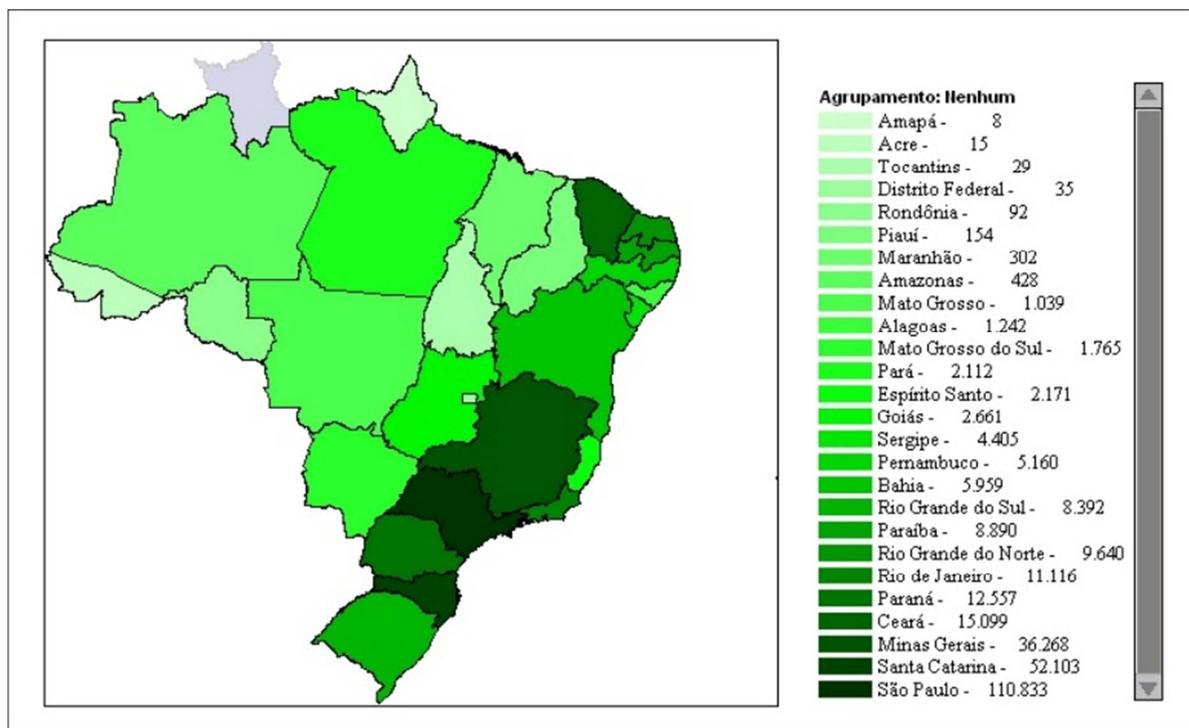


Figura 3 - Distribuição espacial do número de Indústrias Têxteis no Brasil
Fonte: FIEPR, 2008.

Com o desenvolvimento tecnológico, o número de indústrias no mundo vem crescendo a cada dia. O Brasil abriga cerca de 30 mil empresas do setor têxtil e confecção, as quais são responsáveis por 1,7 milhões de empregos diretos. Segundo dados da ABIT (2008), o Brasil exportou cerca de US\$ 2,4 bilhões no setor. Sendo assim, a indústria têxtil constitui um fator de grande importância da economia brasileira por contribuir com perto de 4,7% do PIB industrial e movimentar aproximadamente mais de US\$ 22 bilhões (de produção) no ano de 2007 (SEBRAE, 2007). Só o Paraná abriga 12.557 empresas e é considerado hoje o segundo maior polo industrial de confecção do país, com uma produção de 150 milhões de peças/ano e faturamento anual de 2,8 milhões (FIEPR, 2010).

De acordo com dados do SEBRAE, a cidade de Maringá é a que apresenta o maior número de indústrias dedicadas ao vestuário. A participação do setor na cidade também é a de maior destaque, sendo de 31%. Na Figura 4, segue o mapa da

localização das indústrias têxteis na cidade de Maringá, segundo banco de dados da Prefeitura Municipal.

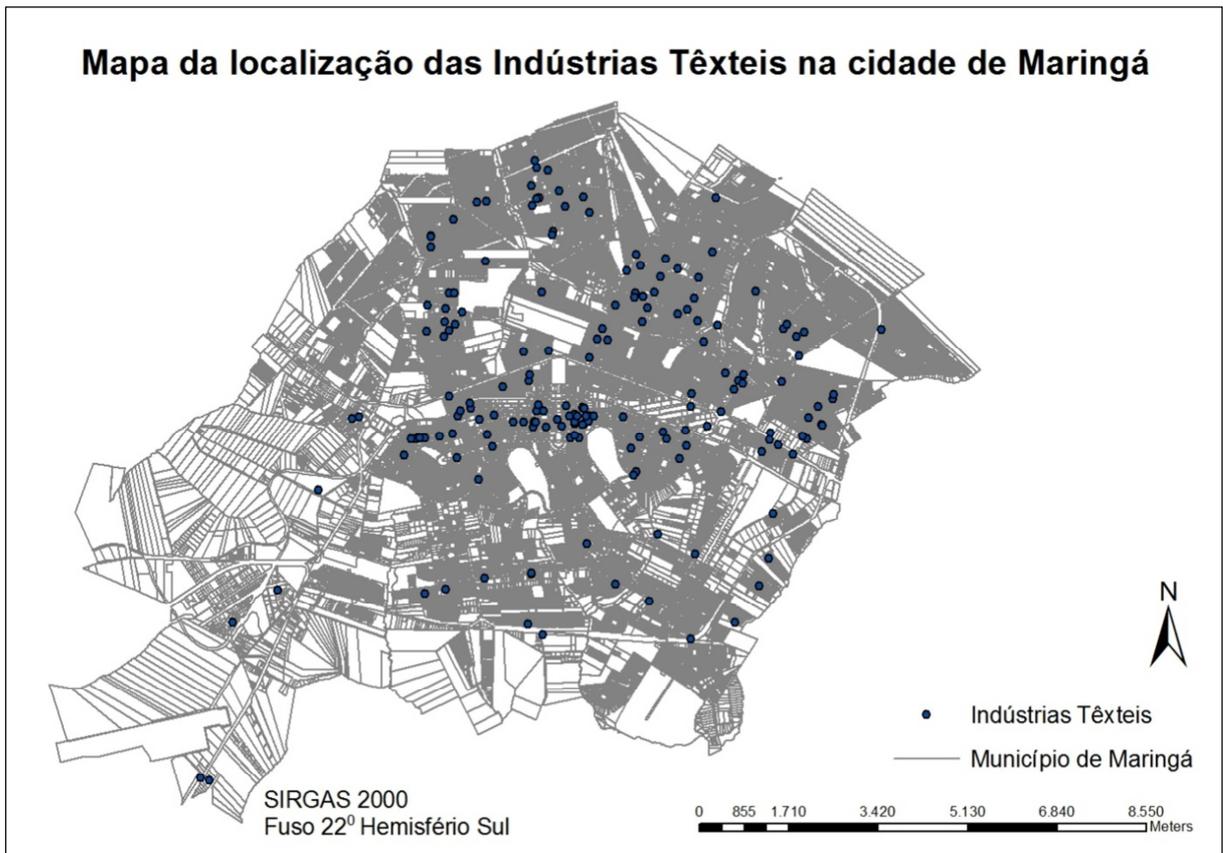


Figura 4 - Mapa com a localização das indústrias têxteis na cidade de Maringá
Fonte: Cadastro de Indústrias Têxteis – Prefeitura Municipal de Maringá, 2011

3.2 CARACTERIZAÇÃO GERAL DO PROCESSO PRODUTIVO TÊXTIL

As instalações têxteis vão desde empresas pequenas de caráter familiar, que adotam processos mais simples e mais tradicionais, até grandes indústrias integradas que operam com máquinas e equipamentos mais modernos. O processo produtivo têxtil está envolvido na recepção e preparação de fibras, na transformação das fibras em fios, conversão dos fios em tecidos, tingimento e acabamentos dos mesmos e confecção de produtos, descritos em mais detalhes na sequência.

A seguir, na Figura 5, tem-se exemplo da cadeia têxtil, da matéria-prima até a etapa de confecção dos produtos.

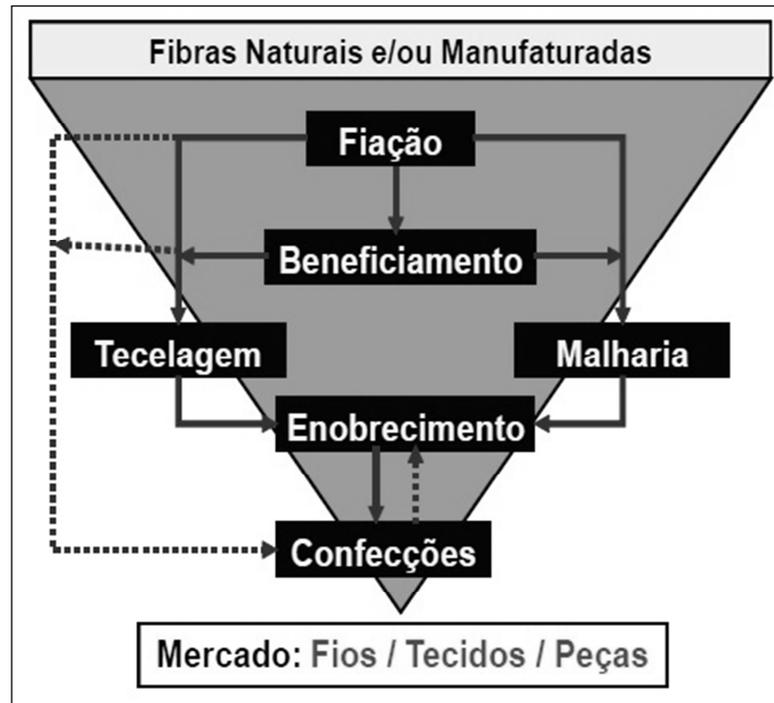


Figura 5 - Cadeia Têxtil
Fonte: SINDITÊXTIL, 2011

A matéria-prima do processo tem origem vegetal, como o algodão e o linho, e animal, como a lã e a seda (NOBRE *et al.*, 2002; CETESB, 2009).

O processo de fiação (Figura 6) consiste em remover as impurezas da fibra, separar as de menor tamanho, unir os fios para a formação de fios retorcidos e fixar os fios por meio de calor (CHAMBINO; CORREIA, 2009; CETESB, 2009).



Figura 6 - Processo de Fiação
Fonte: VICUNHA TÊXTIL S/A, 2010

O processo de beneficiamento compreende etapas como: chamuscagem, purga, alveamento, mercerização, tingimento, estamparia, secagem, compactação, calandragem, felpagem, amaciamento e, em alguns casos, acabamento antichamas. (CETESB, 2009; CHAMBINO; CORREIA, 2009; LANGE; SCHENINI, 2007).

Já o processo de tecimento (Figura 7) compreende as etapas de: urdimento, engomagem e tecimento tecido/malha (CETESB, 2009).



Figura 7 - Processo de Tecelagem
Fonte: SANTISTA TÊXTIL, 2010

O processo de enobrecimento também é dividido em etapas, sendo elas: chamuscagem, desengomagem, purga/limpeza, alveamento, mercerização, efeito seda, tingimento, estamparia, secagem, sanforização, calandragem, felpagem, navalhagem, esmerilhagem, amaciamento, acabamento antirugas, encorpamento e acabamento antichamas (CETESB, 2009; CHAMBINO e CORREIA, 2009; LANGE e SCHENINI, 2007).

As operações de tingimento do tecido (Figura 8) consistem em lavagens sucessivas para a eliminação de excesso de corantes e produtos químicos presentes no material a ser tingido. O tingimento propriamente dito pode ser efetuado de maneira contínua e descontínua. Para cada tipo de matéria-prima a ser tingida se exige um tipo de equipamento, tipo de corante, determinados produtos auxiliares, e temperatura e tempo de tingimento específicos (INETI, 2000).



Figura 8 - Processo de Tingimento
Fonte: VICUNHA TÊXTIL S/A, 2010

Já a estamparia consiste na obtenção direta dos desenhos, podendo ser de uma ou várias cores, sobre o tecido desejado. A fase de estampagem dos tecidos (Figura 9) envolve os processos de estampagem propriamente dita, secagem, fixação da estampagem e lavagens (INETI, *op. cit.*).



Figura 9 - Processo de Estamparia
Fonte: VICUNHA TÊXTIL S/A, 2010

Os acabamentos químicos conferem aos produtos as características finais, podendo ser tanto no tecido como na malha. Esse processo se traduz em uma melhor estabilidade para o tecido ou malha, melhoramentos de aspecto e toque ou ainda

melhoramentos na resistência a agressões externas. A Figura 10 demonstra o maquinário do processo de acabamento (INETI, 2000).



Figura 10 - Processo de Acabamento
Fonte: VICUNHA TÊXTIL S/A, 2010

A confecção (Figura 11) inclui os processos de moldagem, corte, confecção e acabamento (INETI, 2000). A fase final, o acabamento, “consiste na limpeza e passadoria das peças já costuradas, de modo a deixá-las prontas para a embalagem e a comercialização” (GOULART FILHO; JENOVEVA NETO, 1997, p.82). São executadas tarefas como o corte de linhas, corte de sobras de panos etc. Inclui também a passadoria de roupa pronta, o empacotamento e o envio das encomendas.



Figura 11 - Processo de Confecção
Fonte: VICUNHA TÊXTIL S/A, 2010

3.3 PROCESSO PRODUTIVO DE TÊXTEIS DE ALGODÃO

O processo produtivo de têxteis de algodão brasileiro envolve sete etapas fundamentais: cotonicultura, algodoeira, fiação, tecelagem, tinturaria e acabamento, indústria de vestuário e distribuição para varejista (URBAN *et al.*, 1995).

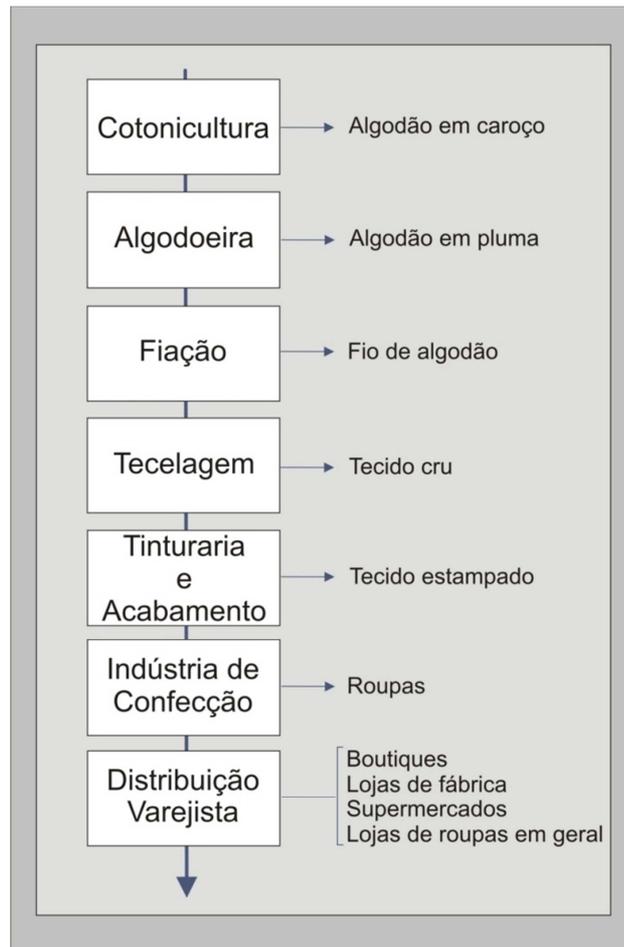


Figura 12 - Fluxo Genérico da Produção Têxtil do Algodão
Fonte: URBAN *et al.*, 1995

A seguir serão explorados os processos de cotonicultura, algodoeira e fiação, uma vez que esses são o foco da pesquisa.

3.3.1 Cotonicultura

Dentre as etapas do processo produtivo de algodão em caroço, a etapa da colheita (Figura 13) é que determina o fator de qualidade. Essa etapa é realizada quando o algodão atinge o ponto de maturação, com as “maçãs”³ abertas.

³São os frutos do algodoeiro na fase verde, após a abertura são chamados de “capulhos”.



Figura 13 - Colheita do Algodão

A qualidade do algodão em caroço depende também da variedade escolhida, do tipo de solo e da condução da cultura (EMBRAPA ALGODÃO, 2003a).

A colheita manual (Figura 14) consiste em três fases ou, “passadas”, como são usualmente chamadas, recolhendo em cada uma delas as “maçãs” maduras, e recolhendo-as individualmente, o que resulta em um produto bastante limpo; o colhedor utiliza um recipiente amarrado ao corpo e vai juntando até obter uma quantidade grande de produto, que em seguida é depositada em sacos colocados ao final das “ruas” de algodão.

Na colheita mecânica (Figura 14) a operação deve ser realizada quando 80% das maçãs estiverem abertas (URBAN *et al.*, 1995). A colheita mecanizada é extremamente vantajosa em relação a manual, pois os custos operacionais são reduzidos, a colheita é realizada em menor tempo, o teor de impurezas é menor, evita a presença de contaminantes, além da economia em relação a mão-de-obra nas operações de recepção do produto colhido, pesagem e utilização de sacarias, o que inviabilizaria grandes extensões de cultivo (EMBRAPA ALGODÃO, 2003b).



Figura 14 - Colheita mecanizada e manual do algodão

Em outro comparativo entre a colheita “maçã por maçã” com a colheita mecânica, o autor ainda ressalta a superioridade na qualidade do produto na manual. Além de destacar que, no Brasil, devido à insuficiência e custo da mão de obra na colheita, as regiões meridionais desenvolveram um sistema denominado “rapa”. Tal sistema consiste em uma única passada, na qual o colhedor arrasta para dentro do recipiente todas as “maçãs”, independente de seu estado de maturação, e por vezes até com algumas partes vegetais da planta. Neste caso se obtém um algodão em caroço sujo, acarretando em perda de qualidade na classificação e, em comparativo a esse sistema, o mecânico se torna mais vantajoso.

3.3.2 Algodoeira

Após a colheita, o algodão em caroço das propriedades cotonicultoras destina-se às algodoeiras, para o primeiro beneficiamento e transformação em fardos de algodão em pluma.

O beneficiamento do algodão (Figura 15) é dividido em três partes: preparatória (recepção, qualificação, armazenamento temporário), limpeza e descaroçamento (separação da fibra da semente) e complementar (prensagem, enfardamento e armazenamento da fibra) (EMBRAPA ALGODÃO, 2003a).

Após a fase preparatória, o algodão sofre o processo de beneficiamento, que têm início com a entrada do algodão em caroço na *tulha*, na qual por sucção, o algodão vai para a segunda máquina denominada *catador de pesados*, no qual são retidas impurezas mais pesadas como terra, sementes descascadas, pedras, paus, maçãs verdes entre outros. Após o fim desse processo, o algodão é encaminhado para o *secador*, que possui a finalidade de controlar a umidade do algodão. O primeiro limpador, conhecido como *batedor*, tem por finalidade bater, o algodão em caroço para que este solte com maior facilidade as impurezas. O segundo limpador, conhecido por extrator, extrai a casca, terra, pau, folha verde e folha seca, ainda incorporada à massa ou aderente a fibra.

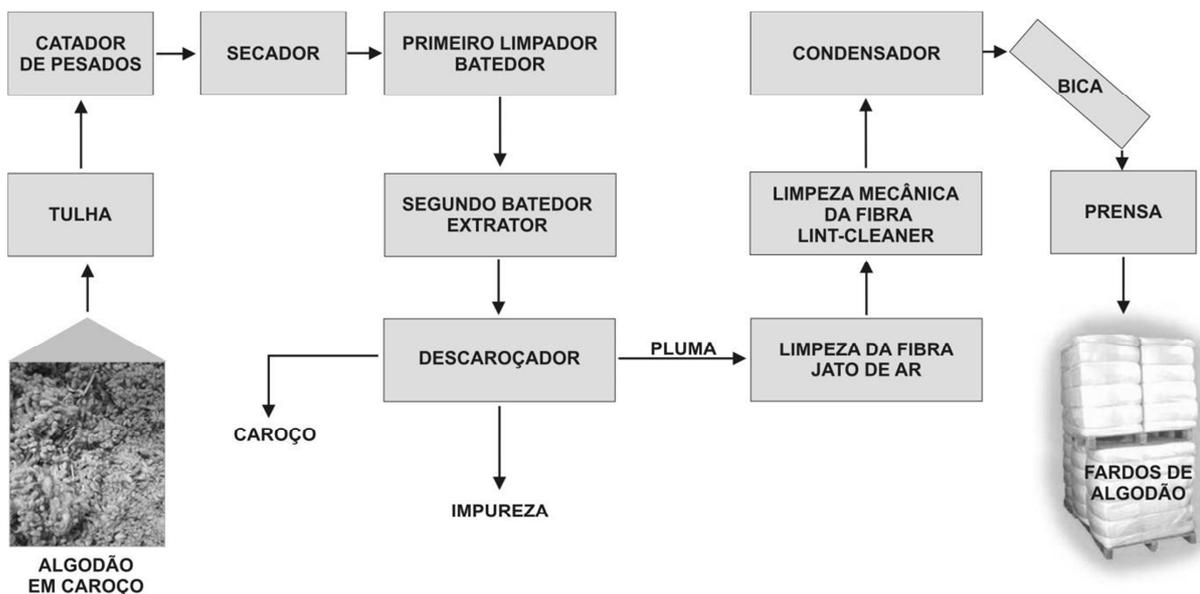


Figura 15 - Processo de beneficiamento do algodão

A parte mais importante da etapa do beneficiamento ocorre nos *descascadores*, que separam a pluma do caroço e do línter⁴, que se constituem em subprodutos. O caroço é encaminhado à indústria para a extração de óleo e produção da torta de algodão, ambos com uso econômico importante. Já a pluma passa por um processo de limpeza por *jatos de ar* e por aparelhos tais como o *lint-cleaner* ou *super Constelation*. O Jato de ar extrai o “piolho” da pluma.

Em seguida, o *condensador*, além de formar a manta, retira também poeiras da pluma. A manta desce pela *bica* e segue para a prensa. Na *prensa*, a manta de pluma é prensada e enfardada.

⁴ O línter é uma densa camada de fios extremamente finos e frágeis, não fiáveis, que recobre as sementes de algodão, e chega a representar até 10% do caroço do algodão.

Na fase complementar, após a prensagem vem o enfardamento. Nesta etapa, no fardo de algodão são especificados o peso e o número que lhe foi conferido, o que permite relacioná-lo com o padrão obtido na classificação, que se baseia em critérios de aparência visíveis a olho nu. Tal padronização pode variar de qualidade superior, no caso tipo 3 – padrão Roma, a inferior, tipo A/P – padrão Betin (URBAN *et al.*, 1995).

Dessa forma, o comprador de algodão em pluma pode realizar a escolha de quais fardos lhe interessa, em função da mistura que pretende realizar na produção do fio.

O beneficiamento do algodão dá origem, em média, a 5% de impurezas, 61% de caroços e 34% de pluma.

3.3.3 Fiação

O fio têxtil pode ser fabricado a partir de fibras naturais, artificiais e sintéticas. Constata-se que no Brasil 70% da matéria-prima é algodão, 25% fibras artificiais e sintéticas, e 5% linho e lã, entre outras (ARAÚJO, 1996).

O processo de produção do fio, chamado de fiação, compreende diversas operações por meio das quais as fibras são abertas, limpas e orientadas em uma mesma direção, paralelizadas e torcidas de modo a se prenderem umas às outras por atrito.

Existem dois fluxos de processos distintos: a fiação por anéis e a fiação por rotor (fiação *open end*). A fiação por anel é denominada convencional, enquanto que os outros processos são denominados não convencionais. Dependendo do fluxo produtivo, podem ser gerados três tipos de fios:

- Fios Penteados: Produzidos a partir do sistema filatório anel, também conhecido como método convencional, passando pelo processo de penteagem, que retira da matéria-prima as impurezas e fibras curtas.
- Fios Cardados: São produzidos pelo mesmo sistema dos fios penteados, porém, apresentam uma fase a menos. Neste processo não se separam as fibras curtas das longas, gerando, dessa forma, fios mais fracos e grossos do que os penteados.

- Fios Cardados *Open-End*: São produzidos pelo menor fluxo produtivo entre os tipos de fios, passando pela carda, passador e filatório a rotor (*open end*). Com este processo também são gerados fios mais grossos e fracos.

Para a obtenção de cada um dos tipos de fios têxteis são necessários vários processos que podem ser subdivididos de acordo com as Figura 16, Figura 17 e Figura 18:

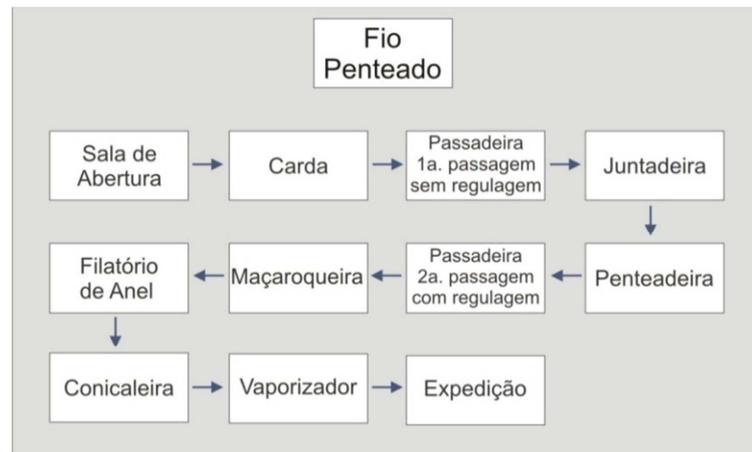


Figura 16 - Etapas do processo de fiação do fio penteado
Fonte: ARAÚJO, 1996

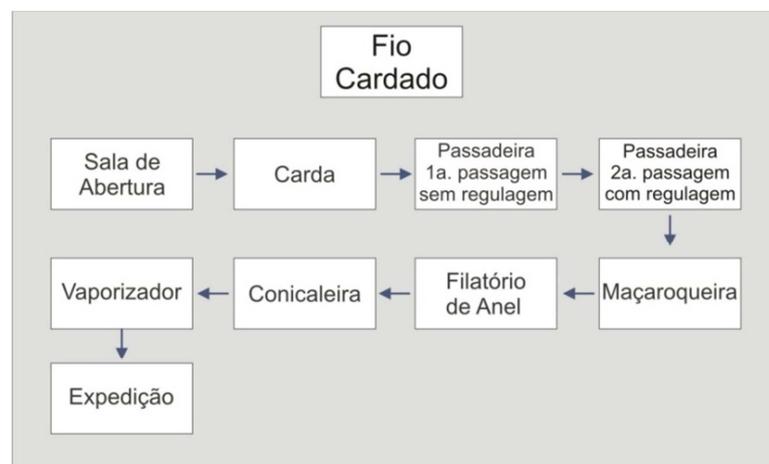


Figura 17 - Etapas do processo de fiação do fio cardado
Fonte: ARAÚJO, 1996

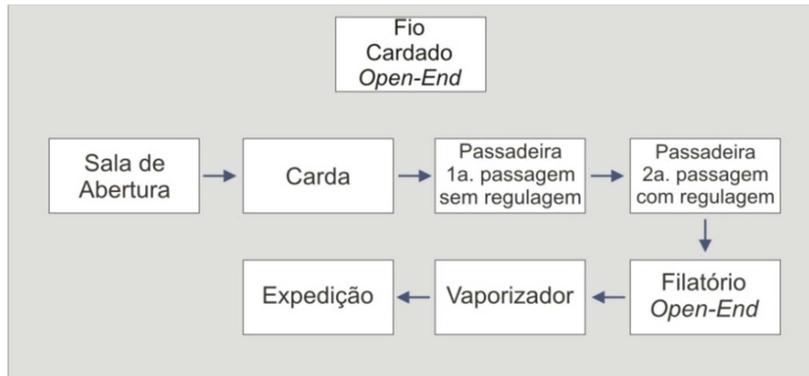


Figura 18 - Etapas do processo de fiação do fio cardado *open-end*
 Fonte: ARAÚJO, 1996

Descrição das etapas dos processos de fiação:

- Sala de Abertura (Figura 19): Os fardos são dispostos lado a lado e um equipamento (automático ou manual) coleta pequenas porções de cada fardo e as submete a batimentos para a remoção de impurezas. Nesta etapa entra o algodão em pluma, por exemplo, e saem flocos de algodão.



Figura 19 - Sala de Abertura

- Carda: Propicia a obtenção de uma mecha de fibras. A função deste processo é a limpeza mecânica das fibras. Nesta etapa entra manta e sai como fita carda.



Figura 20 - Processo de Carda

- Passadeira (Figura 21): Etapa que uniformiza o peso por unidade de comprimento, paraleliza as fibras por meio da estiragem. Nesta etapa a fita é introduzida em um par de cilindros giratórios com velocidade e, posteriormente, entra em outro par de cilindros movimentando-se a uma velocidade maior. Dessa forma, sairá mais fina e mais comprida do que a introduzida no primeiro cilindro.



Figura 21 - Passadeira

- Juntadeira: No caso do processo penteado, esta etapa tem o objetivo de reunir as fitas saídas da carda ou da passadeira e uni-las em forma de uma manta para alimentar a penteadeira.
- Penteadeira: Etapa em que é feita a segregação das fibras curtas. O objetivo é uniformizar o comprimento das fibras, eliminando todas aquelas que não atinjam o comprimento adequado para a obtenção de fios finos e de boa qualidade.
- Maçaroqueira: Etapa em que ocorre a transformação das fitas em fios, ainda de grandes dimensões, chamados pavios, com cerca de 3 a 5 mm de espessura. Tal transformação se dá por estiramento e torção, cujo processo é totalmente mecânico.
- Filatório por Anel: Neste tipo de fiação cada fuso é alimentado por uma mecha, ou pavio, originada na maçaroqueira, posicionada na parte superior da estrutura do filatório (Figura 22).

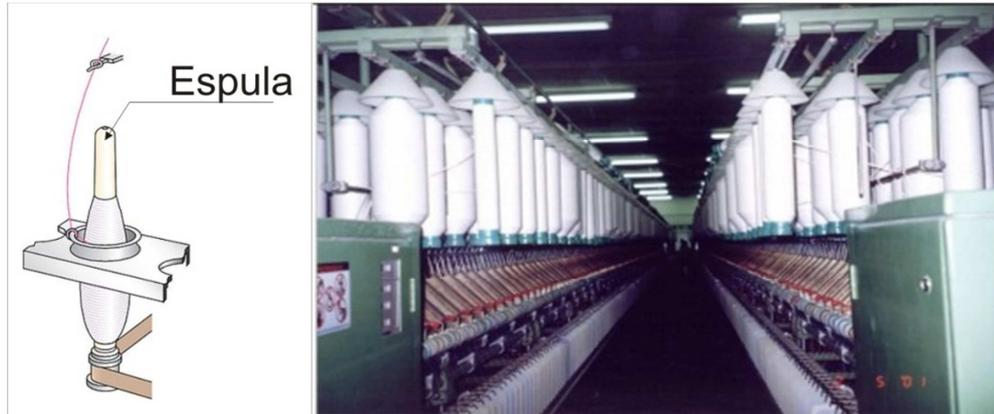


Figura 22 - Processo Filatório por Anel

- Filatório *Open End*: Consiste na produção do fio diretamente da fita, o que evita a necessidade do pavio produzido pela maçoaroeira (Figura 23).



Figura 23 - Processo Filatório *Open-End*
Fonte: PAVANELI TÊXTIL, 2010

- Conicaleira: No caso do processo de fiação por anel, o fio sai embalado em forma de espula, que não pode ser usada para o processo de tecelagem. Neste caso, é mudada a forma de embalagem do fio da espula para outra forma de embalagem, que é a bobina (Figura 24). Tal processo é realizado em uma máquina chamada bobinadeira. Além da função da mudança de embalagem, a máquina também possui a função de retirar as irregularidades do fio, como pontos grossos e finos.



Figura 24 - Bobina de fios de algodão

3.4 RESÍDUOS SÓLIDOS TÊXTEIS

A produção têxtil gera resíduos líquidos, sólidos e gasosos que surgem ao longo do processo produtivo em proporções diferentes, sendo que o impacto ocorrido em uma fase não é necessariamente o mesmo de outra; esses resíduos apresentam diversificação à medida que vão surgindo novos processos, maquinários, técnicas, reagentes e outros (NOBRE *et al.*, 2002).

O processo produtivo têxtil é dividido em fiação, tecelagem ou malharia, beneficiamento e enobrecimentos dos fios e tecidos, e confecção. A seguir se encontra a definição de cada processo segundo o manual do CETESB (2009) e o guia técnico do setor têxtil do INETI (2000):

- Fiação: Etapa na qual o fio é produzido e embalado em carretéis, podendo ir para o beneficiamento ou diretamente para a tecelagem.
- Beneficiamento: Etapa de preparação dos fios para uso final ou não, que envolve processos como tingimento, engomagem, retorção e tratamentos especiais.
- Tecimento: Nesta etapa os teares recebem o fio tratado para a elaboração de tecido plano ou de malha circular ou retilínea.
- Enobrecimento: Etapa de preparação para tingimento, estamparia e acabamentos dos tecidos.

- Confecção: Etapa de desenvolvimento das peças com aplicação diversificada de tecnologias.

O processo da obtenção da matéria-prima até as fibras gera resíduos atmosféricos, como poeira, ruídos e vibrações; resíduos líquidos na geração de efluentes; e sólidos, como perdas de lã pelo processo, pequenas fibras, casulos danificados, entre outros (NOBRE *et al.*, 2002; CETESB, 2009).

O processo de obtenção do algodão apresenta dois tipos de resíduos provenientes das operações de preparação da matéria-prima: cascas (4%) e terra (12%), além de matéria-prima não processada, que podem constituir uma percentagem considerável do total do algodão processado, dependendo do grau de limpeza (INETI, 2000).

O processo de fiação consiste em remover as impurezas da fibra (Figura 25), separar as de menor tamanho, unir os fios para a formação de fios retorcidos e fixar os fios por meio de calor. Este processo gera resíduos sólidos como varreduras, fibras muito curtas, resíduos recolhidos dos aspiradores e dos limpadores, cascas e cones, além de condensação proveniente da vaporização no ar (CHAMBINO; CORREIA, 2009; CETESB, 2009).



Figura 25 - Impurezas existentes nas plumas de algodão

O processo de beneficiamento compreende etapas como: chamuscagem, purga, alvejamento, mercerização, tingimento, estamparia, secagem, compactação, calandragem, felpagem, amaciamento e, em alguns casos, acabamento antichamas. Todos esses processos geram resíduos atmosféricos, como emissões de gases de queima/combustão e emissões de calor/vapor; resíduos líquidos, como geração de efluentes; e resíduos sólidos, como fibras queimadas, fibras retiradas do material

têxtil durante o processo, pasta de estampar, tela e embalagens diversas (CETESB, 2009; CHAMBINO; CORREIA, 2009; LANGE; SCHENINI, 2007).

Já o processo de tecimento compreende as etapas de: urdimento, engomagem e tecimento tecido/malha, e pode gerar resíduos atmosféricos como pequenas fibrilas no ar e emissões de compostos orgânicos voláteis, resíduos sólidos como cones, restos do banho de goma, fibras, fios, tecidos, óleo usado e embalagens diversas, além de haver igualmente a geração de efluentes nesta etapa (CETESB, 2009).

O processo de enobrecimento também é dividido em etapas, sendo elas: chamuscagem, desengomagem, purga/limpeza, alvejamento, mercerização, efeito seda, tingimento, estamparia, secagem, sanforização, calandragem, felpagem, navalhagem, esmerilhagem, amaciamento, acabamento antirrugas, encorpamento e acabamento antichamas, gerando praticamente os mesmos resíduos do processo de beneficiamento (CETESB, 2009; CHAMBINO; CORREIA, 2009; LANGE; SCHENINI, 2007).

Na etapa final, a confecção, dividida nos processos de modelagem, enfesto, corte, costura, acabamento e embalagem/expedição, gera-se resíduos sólidos como retalhos, restos de embalagens e restos de papel de moldes.

3.5 QUANTIFICAÇÃO

Em se tratando de quantidade, os resíduos sólidos ocupam o segundo lugar no processo produtivo têxtil, tendo muitas variedades de resíduos sólidos, que vão desde cinzas, paletes de madeira, até latas de alumínio, entre outros (EPA, 1997).

As quantidades de resíduos sólidos gerados dependem muito do tamanho e do tipo de operação têxtil, da natureza dos resíduos, da eficiência da máquina e do nível de consciência dos problemas de resíduos por parte dos operadores e dos gestores da indústria.

O *The American Textile Manufactures Institute* (ATMI) realizou uma pesquisa nos Estados Unidos, em 1994, no qual se verificou que a maior quantidade de resíduos gerados (em toneladas) era de papel/lixo, seguidos de lodo de águas residuárias, papelão e cinzas (EPA, 1997).

A pesquisa mostra, em um comparativo com o ano de 1989, que a porcentagem de resíduos sólidos enviados para aterro caiu de 70% para 33%, e a porcentagem de resíduos sólidos reciclados aumentou de 23% para 65%.

O estudo contou com a colaboração de 290 indústrias, nas quais a quantificação de resíduos sólidos foi de 51.000 toneladas por mês. Destas:

- 32.695 ton. (ou 64%) foram enviadas para aterros sanitários públicos;
- 11.984 ton. (ou 23%) foram recicladas;
- 3.119 ton. (ou 6%) foram enviadas para aterros sanitários privados;
- 467 ton. (ou 1%) foram incineradas;
- 2.878 ton. (ou 6%) foram descartadas por outros meios.

O Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial de Portugal (INETI), em seu *Guia Técnico do Setor Têxtil* (2009), relata que é possível, por meio de uma conjuntura da quantidade de matéria-prima processada em cada um dos subsetores com os rendimentos médios para cada uma das operações produtivas envolvidas, estimar a quantidade de resíduos sólidos gerados. Dessa forma, o guia chegou às seguintes quantificações:

Quadro 1- Quantificação de Resíduos Sólidos

Quantificação de Resíduos Sólidos	
Lã	<ul style="list-style-type: none"> • 50% do peso da lã se perdem na operação de lavagem; • 50% dos resíduos sólidos totais são gerados nas operações de fiação; • Dos Resíduos Sólidos relativos à lama: 96,75% se formam na operação de lavagem, 2,08% na preparação para o tingimento e 1,16% no tingimento.
Algodão	<ul style="list-style-type: none"> • 84% dos resíduos sólidos totais são gerados na fiação; • Dos Resíduos Sólidos relativos à lama: 87,94% se formam na operação de preparação para o tingimento e 12,05% na estamparia.
Fibras Sintéticas	<ul style="list-style-type: none"> • 66% dos Resíduos Sólidos Totais são gerados no esticamento, texturização e torção. • Dos Resíduos Sólidos relativos à lama: 99,99% são gerados na operação de tingimento.
Confecção	<ul style="list-style-type: none"> • 79% dos Resíduos Sólidos Totais são gerados na operação do corte e 21% na confecção e na revisão.

Fonte: INETI, 2009

3.6 IMPACTOS AMBIENTAIS DO SETOR TÊXTIL

Na indústria têxtil o processo de produção é composto de várias etapas, as quais podem ser causadoras de impactos ambientais caso não haja a atenção devida.

Produzir de maneira ecologicamente correta pode atenuar custos. Isso pode ser realizado através de simples inovações no processo de produção, que, além de permitir a utilização mais eficiente de uma série de insumos, pode vir a trazer novos mercados a partir dos subprodutos gerados (SANTOS, 1997).

Na fase de plantio do algodão, segundo Banuri (1998), o uso de produtos químicos para controlar a incidência de pragas tem sido o principal contribuinte para a degradação ambiental, medida em termos de efeitos adversos sobre a qualidade do solo, saúde humana, biodiversidade local e equilíbrio ecológico.

Também, segundo este autor, existem outros riscos ambientais associados às adubações químicas e à água da irrigação. A irrigação, apesar de trazer benefícios para a produção da cultura, tem criado impactos ambientais adversos ao solo, à disponibilidade e qualidade da água, à saúde pública e à fauna e flora.

Bernardo (1992) destaca seis principais tipos de impactos ambientais inerentes à irrigação: modificação do meio ambiente, salinização do solo, contaminação dos recursos hídricos (rios e águas subterrâneas), consumo exagerado da disponibilidade hídrica da região, consumo elevado de energia e problemas de saúde pública.

No setor têxtil a água é também um dos elementos-chave no processo de produção, principalmente nas etapas de beneficiamento da malha de algodão, no qual ocorre o tingimento da malha e acontecem as alterações na qualidade da água, devido às substâncias químicas que fazem parte do processo (SANTOS, 1997). Segundo Banuri (1998), a principal fonte de poluição da indústria têxtil é o despejo destes efluentes não tratados nos corpos d' água e no solo.

Os resíduos sólidos gerados pela indústria têxtil também são um problema ambiental. São resíduos originados em processo de produção, subprodutos não reutilizáveis e produtos de manufatura, como embalagens, que acabam sendo convertidos em lixo urbano (LANGE; SCHENINI, 2007). Guercio (2006) destaca que

o lodo da indústria têxtil apresenta hoje o maior problema de descarte. Atualmente todo esse lodo é enviado para aterros sanitários que, de acordo com o critérios da NBR ISO 14001 (2004), devem trabalhar em condições legalizadas para tal suporte, o que não garante à indústria livrar-se no futuro de passivos ambientais.

Segundo Santos (1997, p.3) “os efeitos poluentes atmosféricos do processo industrial têxtil não se faz muito alarmante”. No entanto, é preciso salientar a preocupação com materiais particulados que possam vir a afetar a saúde dos trabalhadores do setor.

Pereira e Freire (2005) destacam que o potencial poluidor de uma indústria têxtil de pequeno porte equivale ao volume de resíduos gerados por aproximadamente 7.000 pessoas ou, ainda, 20.000 pessoas, considerando o teor do material orgânico.

Abreu, Rados e Figueiredo Junior (2004) relatam que o impacto ambiental das atividades têxteis está relacionado ao elevado consumo de energia elétrica, de água, e ao lançamento de contaminantes nos corpos receptores. Tais empresas admitem que o lançamento de efluente líquido no corpo receptor e o consumo de energia elétrica são os principais impactos decorrentes da atividade produtiva (GUERCIO, 2006).

Para Valle (2004) a poluição industrial é uma forma de desperdício e um indício da ineficiência dos processos produtivos utilizados.

Os resíduos industriais têxteis possuem uma composição química bastante variada, uma vez que, nos processos têxteis e no tratamento de seus efluentes são usados produtos como: soda, polímeros, corantes, sais, ácidos, gomas, sulfato de alumínio e de ferro, entre outros. Tais fatos, associados à falta de tratamento desses resíduos, acarreta, para sua disposição final, um elevado custo (CHERIAF; ROCHA; ANGLLUSKI, 2000).

Pereira e Freire (2005) dão destaque à etapa de tingimento têxtil, uma das mais importantes do processo produtivo, no sentido de que cerca de 30% dos corantes utilizados não se fixam nas fibras e são descarregados como efluentes nos corpos d' água. Uma vez lançados no rio, sem o devido tratamento, esses corantes provocam um enorme impacto ambiental.

4 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

4.1 HISTÓRICO E DEFINIÇÕES

A avaliação do ciclo de vida (ACV) é uma ferramenta utilizada para analisar quantitativamente o ciclo de vida de produtos ou atividades dentro do contexto de impacto ambiental. Durante a década de 90, a aplicação dessa ferramenta sofreu grandes mudanças (PRÉ CONSULTANTS, 2010b).

A *Society for Environmental Toxicology and Chemistry* (SETAC), no ano de 1992, instituiu uma abordagem padrão para a análise dos impactos ambientais de serviços, processos e produtos no decorrer da vida útil dos mesmos, procurando avaliar de forma sistêmica tais impactos relacionados a diferentes atividades humanas (FIKSEL, 1996). Para a SETAC,

A análise inclui o ciclo de vida completo do produto, processo ou atividade, ou seja, a extração e o processamento de matérias-primas, a fabricação, o transporte e a distribuição; o uso, o reemprego, a manutenção; a reciclagem, a reutilização e a disposição final (SETAC, 2009, p.33).

A ACV leva em conta as etapas “do berço à cova” (Figura 26) ou, considerando-se o aproveitamento do produto após o uso, “do berço ao berço” (GIANNETTI; ALMEIDA, 2006).

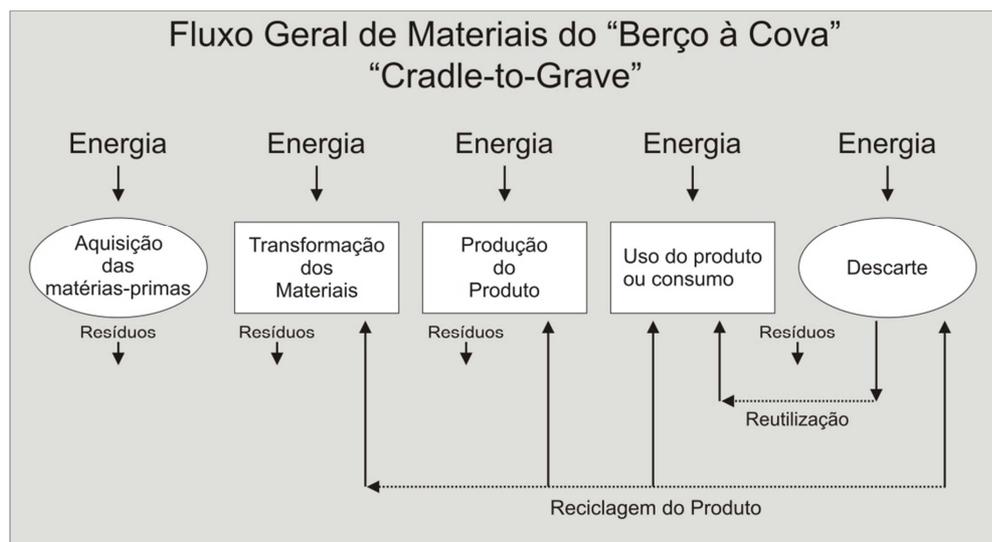


Figura 26 - Principais estágios do ciclo de vida de um produto
Fonte: GIANNETTI; ALMEIDA, 2006

Ferrão (1998) destaca que o conceito fundamental por trás dessa abordagem é a consciência de que qualquer processo, produto ou serviço produz impactos no ambiente.

Autores como Jensen *et al.* (1997), Chehebe (2002) e Hoof (2000) apontam que os primeiros estudos de ACV no mundo foram realizados pela Coca-Cola, em 1969.

De acordo com Hoof (2000), o país que mais desenvolveu casos de ACV foi a Alemanha, devido aos resíduos sólidos que estavam no centro das atenções da opinião pública nos anos de 1980. Lima e Kiperstok (2006) ressaltam que o país conta com a “Rede de Inventários de Ciclo de Vida Alemã” (*German Network on Life Cycle Inventory Data*), que consiste em uma plataforma de cooperação e informação envolvendo diversos atores da academia, indústria e governo.

Estes autores ainda relatam que o Japão desenvolveu um Projeto Nacional de Avaliação do Ciclo de Vida, como estratégia do Fórum Japonês de ACV, no qual várias entidades participam do projeto, como o governo, instituições de pesquisa, indústria, entre outras. Um destaque do projeto japonês é o banco de dados, que foi construído com dados primários coletados diretamente das indústrias participantes.

A ACV no Brasil é uma ferramenta que ainda está se tornando conhecida, prova disso é o baixo uso da ferramenta pelas indústrias. Chehebe (2002) cita o emprego da ferramenta no Brasil pelas empresas Mercedes-Benz e o Instituto Técnico de Alimentação – ITAL.

Entretanto Lima, Caldeira-Pires e Kiperstok (2007) descrevem que nos últimos anos tem aumentado o interesse das indústrias, dos especialistas ambientais, das autoridades, associações de consumidores, organizações ambientais e do público em geral em querer conhecer a qualidade ambiental dos processos de produção e dos produtos.

Os autores, em sua pesquisa a respeito da evolução dos trabalhos de ACV em instituições brasileiras, verificaram que o setor que possui mais desenvolvimento de ACV no Brasil é o acadêmico, apesar de estar atrasado em relação aos países desenvolvidos.

4.2 NORMAS

A Série ISO 14.000 é um grupo de normas que fornece ferramentas e estabelece um padrão de Sistema de Gestão Ambiental. Essas normas abrangem seis áreas bem definidas: Sistema de Gestão Ambiental, Auditorias Ambientais, Avaliação de Desempenho Ambiental, Rotulagem Ambiental, Aspectos Ambientais nas Normas de Produtos e Avaliação do Ciclo de Vida do Produto.

Tal série surgiu decorrente da continuação da procura pela Qualidade Total nas atividades industriais, iniciada pela série de normas ISO 9.000 (2000) e seguindo procedimentos de implementação similares (MATA; COSTA, 1997).

Para a análise de aspectos ambientais e dos impactos potenciais associados aos ciclos de vida de produtos, surgiram as normas da série ISO 14.040 (2001), relativas à Avaliação do Ciclo de Vida, na qual, de acordo com Valt (2004), a maior contribuição para a padronização dessa técnica foi dada *pela Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC)*, que orientou os trabalhos de normatização da ISO.

As normas relacionadas à Avaliação do Ciclo de Vida são descritas a seguir:

- ISO 14.040 (2001) – Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida: Princípios e Estruturas.
- ISO 14.041 (2004) – Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida: Definição de objetivo e análise do inventário e escopo.
- ISO 14.042 (2004) – Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida: Análise de Impactos associados ao ciclo de vida.
- ISO 14.043 (2004) – Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida: Interpretação.

Em 2006, após análise e revisão do Comitê Técnico TC-207⁵, essas normas foram reduzidas para apenas duas, e em 2009 foram atualizadas para:

⁵ No ano de 1993, a ISO reuniu diversos profissionais e criou um comitê, intitulado Comitê Técnico TC 207 que teve como objetivo desenvolver um conjunto de normas direcionadas para as questões ambientais.

- ISO 14.040 (2009) – Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida: Princípios e Estruturas.
- ISO 14.044 (2009) – Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida: Requisitos e Diretrizes.

4.3 FASES

A Avaliação do Ciclo de Vida inclui quatro fases, que, segundo a ISO 14040 (2009), são classificadas em:

- Objetivo e escopo
- Análise do Inventário
- Análise do Impacto Ambiental
- Interpretação

A relação entre essas fases está ilustrada na Figura 27. A seguir, é feita uma rápida descrição de cada uma dessas etapas.

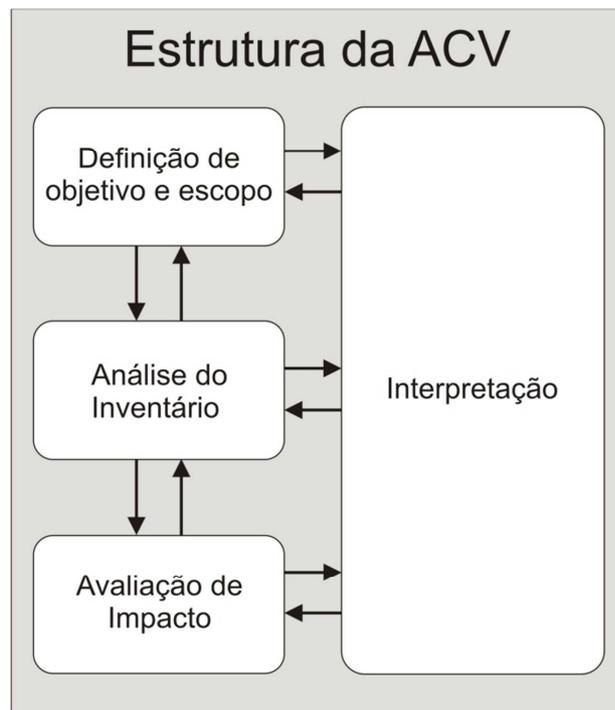


Figura 27 - Fases de uma ACV
Fonte: NBR ISO 14040, 2009 (adaptado)

4.3.1 Objetivo e Escopo

De acordo com a norma NBR ISO 14040 (2009), o objetivo de um estudo de ACV deve declarar de forma inequívoca a aplicação pretendida, as razões para conduzir

o estudo, e o público alvo, isto é, para quem se pretende comunicar os seus resultados.

Dessa forma, nessa etapa são definidos os limites do sistema, o objetivo do estudo e a descrição do método aplicado para a análise dos potenciais impactos ambientais (MATA; COSTA, 1997). A definição do escopo envolve a descrição do produto a ser pesquisado e de possíveis produtos alternativos (XAVIER; PIRES, 2004).

Para Chehebe (2002), o escopo refere-se à aplicabilidade geográfica, técnica e histórica do estudo, ou seja, definir de onde os dados virão, como atualizar o estudo, como a informação será manipulada e onde os resultados serão aplicados.

Ainda com relação ao escopo, a norma NBR ISO 14040 (2009) ressalta a flexibilidade dessa etapa, dada a interatividade e a abertura de alteração dos aspectos ao longo do processo para atingir o objetivo geral do estudo (BARRETO, 2007).

Para Mata e Costa (1997), faz parte do âmbito do estudo a identificação dos seguintes itens:

- Unidade Funcional, cuja principal finalidade é fornecer uma referência à qual se relacionam os dados de entrada e saída, de forma a assegurar a comparabilidade dos resultados.
- A Fronteira do sistema, que define os processos unitários que serão incluídos no sistema a modelar. É de bastante ajuda descrever o sistema utilizando-se fluxogramas.
- A Qualidade dos dados, que deve ser estabelecida de forma a definir a cobertura temporal (estabelece a idade desejada), a cobertura geográfica (define a área abrangida pela escolha de dados) e a cobertura tecnológica (define a natureza desta).

Esses autores ainda ressaltam que outras considerações importantes para a qualidade dos dados são: precisão, representatividade, consistência e reprodutibilidade.

A Figura 28 demonstra o diagrama de fluxo indicativo das atividades necessárias para a definição do objetivo e escopo da ACV.

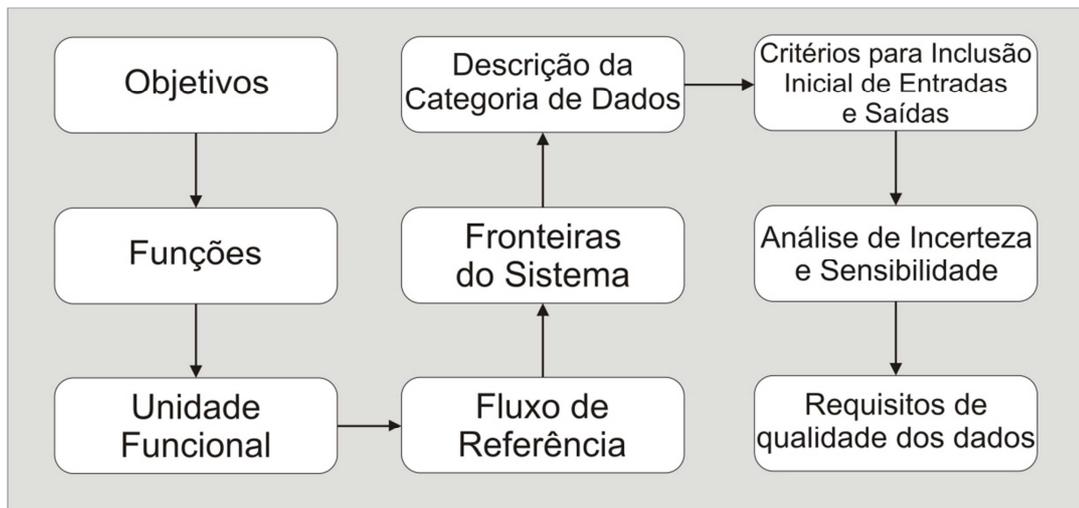


Figura 28 - Etapas para a definição do objetivo e do escopo da ACV
Fonte: BARRETO, 2007

Conforme a Figura 28, primeiramente são definidos os objetivos da ACV, o primeiro passo na definição do escopo é determinar a especificação das funções do produto, quantificadas pela unidade funcional. Essa etapa demonstra as funções relativas ao desempenho esperado do produto.

A próxima etapa é a definição da unidade funcional, cujo objetivo principal é o de fornecer uma referência com relação à qual os dados de entrada e saída possam ser padronizados (NBR ISO 14041, 2004).

No caso de múltiplos sistemas e funções a serem comparados, deve-se quantificar o produto necessário para cumprir a função, o que resultará no fluxo de referência. Tal fluxo é então utilizado para que as entradas e saídas do sistema sejam calculadas (BARRETO, 2007).

Na definição das fronteiras do sistema são definidos os processos elementares que serão incluídos no sistema a ser modelado. Barreto (2007) relata que nessa etapa também devem ser tomadas as decisões relativas a quais emissões para o ambiente deverão ser avaliadas.

A norma NBR ISO 14041 (2004) defende que quaisquer decisões sobre a omissão de estágios do ciclo de vida, processos ou fluxos de entrada e saída devem ser claramente declaradas e justificadas.

Outro passo é a descrição da categoria de dados. Esta etapa contempla as entradas de energia, matéria-prima, substâncias auxiliares, produtos, emissões para atmosfera, solo, água, entre outros.

Alguns critérios para a inclusão inicial de entradas e saídas devem ser estabelecidos durante a definição do escopo. Barreto (2007) ressalta que são basicamente três critérios estudados:

- Massa – a partir de uma percentagem da massa total do produto;
- Energia – a partir de uma percentagem da energia total do sistema do produto;
- Relevância Ambiental – a partir de uma percentagem da quantidade estimada de cada categoria de dados do sistema do produto.

A última etapa é a determinação dos requisitos de qualidade dos dados, na qual se recomenda que os dados sejam caracterizados tanto por meio de aspectos quantitativos e qualitativos quanto pelo método utilizado para coletar e integrar esses dados. Para tanto, as coberturas temporal, geográfica e tecnológica deverão ser consideradas.

Na prática, a maioria dos processos industriais gera mais de um produto final, reciclando produtos intermediários e/ou comercializando subprodutos como matéria-prima para outras empresas. Dessa forma, a alocação é uma forma de determinar como serão distribuídas as saídas entre os subprodutos. A alocação pode ser baseada nas propriedades físicas, causais, valor econômico, massa, volume ou conteúdo energético.

Depois de definidos os objetivos e o escopo da ACV, é iniciada a próxima etapa: a análise do inventário.

4.3.2 Análise do Inventário

A análise de inventário envolve a coleta de dados e procedimentos de cálculo para quantificar as entradas e saídas relevantes de um sistema (MATA; COSTA, 1997).

O inventário determina as emissões que ocorrem durante o ciclo e a quantidade de energia e matérias-primas utilizadas. De acordo com Giannetti e Almeida (2006), consiste basicamente num balanço de massa e energia, em que todos os fluxos de entrada devem corresponder a um fluxo de saída, sendo esta saída quantificada como produto, resíduo ou emissão.

Com a elaboração do inventário é possível identificar pontos de produção de resíduos e a sua destinação, as quantidades de material que circulam no sistema e as quantidades que dele saem. De acordo com Xavier e Caldeira-Pires (2004, p.324):

O resultado desses cálculos é uma longa lista de intervenções ambientais para cada sistema de produção. Essas listas podem ser comparadas. Em alguns casos, elas são suficientes para identificar os sistemas de produção com baixos impactos ambientais. No entanto, é mais comum que um sistema de produção tenha um impacto ambiental mais baixo para determinadas intervenções, enquanto outro sistema obtenha melhores resultados em outras.

A Figura 29 mostra de maneira condensada o diagrama de fluxo indicativo das atividades necessárias para a análise do inventário de uma ACV, segundo a norma NBR ISO 14044 (2009).

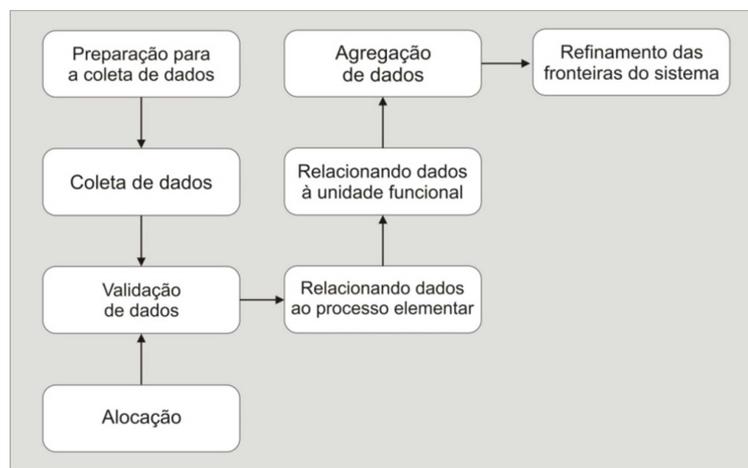


Figura 29 - Etapas realização do inventário
Fonte: NBR ISO 14044, 2009

Um fluxograma é normalmente utilizado para auxiliar na identificação das entradas, saídas e transformações no produto. Para a melhor análise das entradas e saídas, os sistemas mais complexos são decompostos em uma série de subsistemas, e tal atividade é conhecida como “preparação para a coleta de dados”. Já a coleta de dados, em si, é executada por meio de procedimentos que variam de acordo com os processos elementares encontrados nos diferentes sistemas modelados (BARRETO, 2007).

Uma vez que as entradas e saídas correspondentes a cada atividade são descritas, elas podem ser mensuradas. Essa etapa trata dos procedimentos de cálculo, com o objetivo de gerar os resultados do inventário do sistema definido para cada processo elementar. Isso é necessário para a transformação da matriz energética para o caso de energia elétrica, e para os fluxos que envolvem materiais combustíveis.

Na visão de Barreto (2007), como a maioria dos processos industriais produz mais de um produto e eles reciclam produtos intermediários ou descartados como matérias-primas, os fluxos de materiais e energia assim como as liberações ao ambiente devem ser alocados aos diferentes produtos, e essa prática é denominada processo de alocação.

Tais dados devem estar relacionados como o processo elementar e com a unidade funcional por meio da normalização dos fluxos de todos os processos. Por fim, os dados são agregados e as fronteiras do sistema podem ser refinadas.

Os resultados desta fase são apresentados em tabela para a realização da análise do impacto ambiental.

4.3.3 Análise do Impacto Ambiental

Para a análise dos impactos são definidas categorias de impacto, na qual são classificadas as entradas e saídas inventariadas que se relacionam potencialmente com os impactos.

Uma vez identificadas as emissões para o ambiente e apresentadas na tabela de resultados, cada impacto de cada emissão deve ser caracterizado e avaliado. Giannetti e Almeida (2006) relatam que a análise é dividida em três etapas, como mostra a Figura 30.

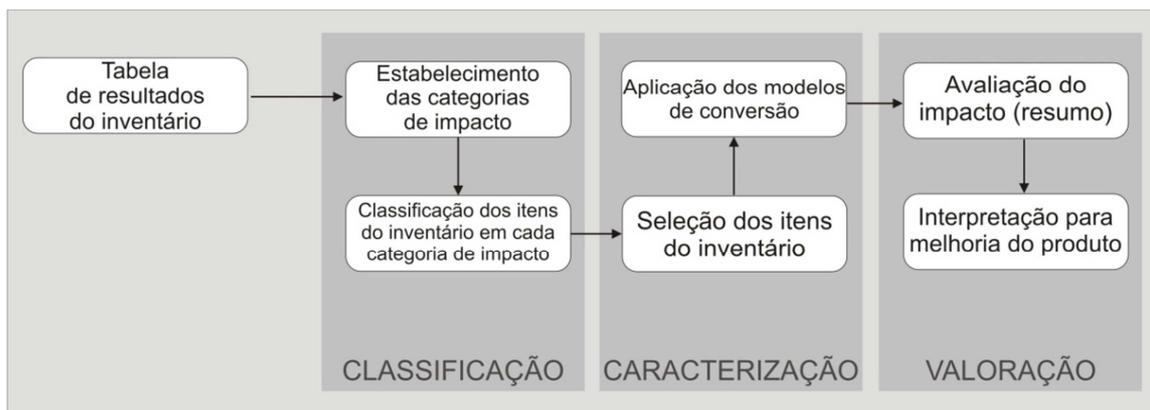


Figura 30 - Etapas para análise de impacto

Fonte: GIANNETTI; ALMEIDA, 2006

Na fase de classificação são definidas as categorias de impactos ambientais, ou seja, agrupam-se e selecionam-se os dados do inventário em algumas categorias de impactos. Já a caracterização contempla a etapa de análise e quantificação do impacto em cada categoria selecionada, e, por fim, na valoração, tais categorias são ponderadas e sua importância relativa deve ser estabelecida com base num processo claro e documentável (MATA; COSTA, 1997).

A análise de impactos prevê os efeitos ambientais das entradas e saídas identificadas, mas também pode vir a atribuir-lhes pesos, estabelecendo uma hierarquia em função de seus benefícios/prejuízos ambientais. A grande discussão reside exatamente nessa etapa, denominada de atribuição de pesos.

Em vista da discussão, o Japão aprovou em maio de 1997 a ISO CD 14042, que propõe que o processo de análise de impacto seja composto, no mínimo, dos seguintes elementos (CHEHEBE, 2002):

- Seleção e definição das categorias – São identificados os grandes focos de preocupação ambiental, as categorias e os indicadores que o estudo utilizará;
- Classificação – Os dados do inventário são classificados e grupados nas diversas categorias relacionadas a efeitos ou impactos ambientais conhecidos. A atribuição adequada é crucial, nesses casos, para a relevância e validade da análise de impacto; e
- Caracterização – Os dados do inventário atribuídos a uma determinada categoria são modelados de forma que os resultados possam ser expressos como indicador numérico.

Durante a realização dos estudos podem ser necessários vários ciclos de interações sendo, assim, empregados *software* de ACV na maioria dos casos. Tais *software* permitem a escolha de métodos de avaliação e a seleção de categorias de impacto.

4.3.4 Interpretação

Esta etapa contempla a análise das principais contribuições do processo no consumo de energia e materiais, e na geração de impactos ambientais.

A NBR ISO 14043 (2004) destaca que esta é uma das etapas mais sensíveis, pois as hipóteses estabelecidas durante as etapas anteriores e as adaptações em função de ajustes necessários podem afetar o resultado final do estudo.

Segundo Mata e Costa (1997, p.43),

A fase de interpretação é um procedimento sistemático para identificar, qualificar, verificar, estruturar e conferir confiança à informação contida nos resultados de análise de inventário e/ou da análise de impactos ambientais, apresentando-as de modo a satisfazerem o objetivo e o âmbito do estudo.

Esse processo envolve associar os dados do inventário a categorias de impacto específicas e a indicadores, considerando o entendimento desses impactos.

A análise de impacto inclui processos iterativos de revisão dos objetivos e escopo do projeto a fim de determinar se os objetivos foram atendidos, ou apontar a necessidade de modificá-los, no caso da análise mostrar que estes não podem ser alcançados.

A norma ISO 14.040 (2009) determina para a Análise de Inventário do Ciclo de Vida – AICV, elementos obrigatórios e elementos opcionais. Entre os elementos obrigatórios estão: seleção de categorias de impacto, classificação e caracterização. Entre os elementos opcionais estão normalização, agrupamento e atribuição de pesos.

4.3.5 Análise de sensibilidade e incerteza

Análises de sensibilidade e incertezas podem ser realizadas em diferentes etapas da ACV. Na literatura existem diversas metodologias disponíveis para o cálculo da incerteza em ACV. Sallaberry (2009) afirma que todos os dados possuem incertezas

e que qualquer variável independente, com uma gama de estimativas ou valores possíveis, pode ser atribuída a uma distribuição de probabilidade. Esses erros são causados por pequenas diferenças na construção de instrumentos aparentemente idênticos, por variações ambientais, por desvios ao longo do tempo ou, ainda, pelos métodos de medição (SILVA, 2011).

O termo incerteza está intimamente relacionado à dúvida. A incerteza na medição nada mais é do que uma dúvida existente em relação ao mensurado.

Para analisar as incertezas associadas com a análise do inventário, avaliação do impacto e os processos de normalização e ponderação, pode-se usar a análise de Monte Carlo (SILVA, 2011).

O método Monte Carlo, também chamado de amostragem estocástica, possui aplicações práticas bastante amplas, sendo também utilizado para validação de resultados fornecidos pela metodologia de análise de incertezas. Essa técnica envolve a amostragem aleatória de cada distribuição de probabilidade de acordo com o modelo, para produzir milhares de cenários. Cada distribuição de probabilidade dos dados de entrada é relacionada a uma grandeza de saída (SALLABERRY, 2009).

O número de amostras aleatórias do método Monte Carlo produz um erro aleatório que depende do número de simulações a serem realizadas. O número de amostras deve ser suficientemente grande para assegurar que esse erro seja suficientemente pequeno (SILVA, 2011).

No caso, o método simula a variação dos parâmetros por meio do desvio padrão e das probabilidades fornecidas, retomando uma nova média e desvio padrão para cada parâmetro solicitado. Quando a incerteza dos dados é aceitável, é realizada a análise e discussão dos resultados. Do contrário, se refaz a seleção dos dados e/ou os objetivos e escopo do projeto.

5 DETALHAMENTO DO SOFTWARE SIMAPRO

O Simapro (System for Integrated Environmental Assessment of Products) foi desenvolvido pela Pré Consultants, uma empresa holandesa de consultoria em ACV (GOEDKOOOP *et al.*, 2009).

Lançado em 1990, o *software* é uma ferramenta profissional e flexível para coletar, analisar e acompanhar o desempenho ambiental de produtos e serviços, sendo um dos *software* mais utilizados no mundo para a avaliação do ciclo de vida (PRÉCONSULTANTS, 2009).

Carvalho (2008) destaca que o *software* é utilizado por grandes indústrias, consultorias e universidades, com usuários em mais de 80 países, sendo o *software* mais bem sucedido no caso de ACV do mundo.

O Simapro pode ser utilizado nas áreas:

- Estudo de Avaliação do Ciclo de Vida;
- Estudos de Quantificação de Gases de Efeito Estufa;
- Inventários de Ciclo de Vida;
- *Ecodesing*;
- Rotulagem Ambiental;
- Análise de Impacto Ambiental (PRÉ CONSULTANS, *op. cit.*).

Seguindo as Normas da ISO 14040 e 14044 (2009), com o *software* é possível avaliar de forma integral, do ponto de vista ambiental ou socioeconômico, todas as etapas do ciclo de vida de um produto ou serviço.

5.1 BASE DE DADOS

Nos últimos anos têm sido desenvolvidos vários programas de computador e bases de dados no intuito de apoiar a condução de estudos ambientais de Avaliação do Ciclo de Vida. Os mais citados nas bibliografias são: SimaPro, KCL-ECO, GaBi e PEMS.

O Simapro, desde que foi introduzido em 1990, tem sido o mais utilizado para análise ambiental dos produtos. A versão Simapro 7.3 dispõe das seguintes bases

de dados, chamadas de bibliotecas no *software*: Dutch Input Output Database 95, Ecoinvent System Processes, Ecoinvent Unit Processes, ELCD, EU & DK Input Output Database, Industry Data 2.0, LCA food DK, Methods, USA Input Output Database 98 e USLCI, como mostra a Figura 31.

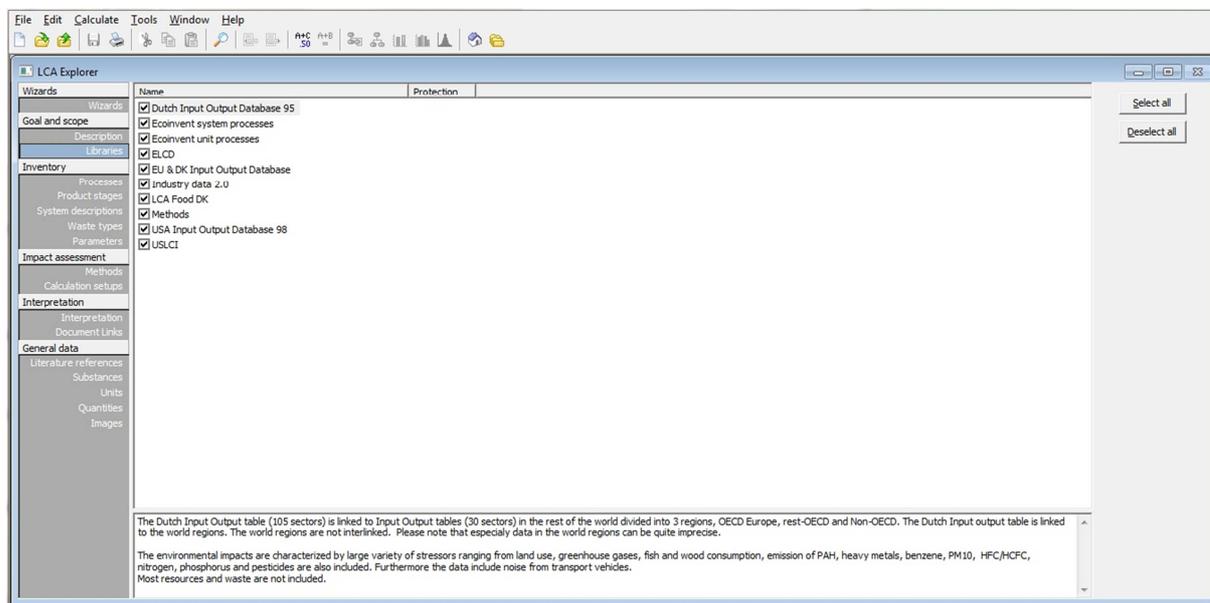


Figura 31 - Bibliotecas contempladas no *software* Simapro

5.2 BIBLIOTECAS

Dentro do *software* é possível escolher com quais bibliotecas se deseja trabalhar e desligar outras (Figura 31). Por exemplo, em um estudo de ACV no qual se deseja trabalhar com dados da Europa, pode-se desligar o banco de dados dos Estados Unidos. Ao desligar tal biblioteca, os seus dados não serão vistos durante todo o desenvolvimento deste projeto, o que evita a inclusão de dados acidentais que não são desejados para tal projeto.

De acordo com a ACV Brasil (2011), o Simapro conta com diversas bibliotecas de inventários, algumas com mais de 4.000 processos e produtos, que auxiliam na fase de coleta de dados (Figura 32). Tais bibliotecas são um tipo especial de projeto, ou seja, é um recurso que pode ser utilizado em todos os projetos e não se destinam às editorações.

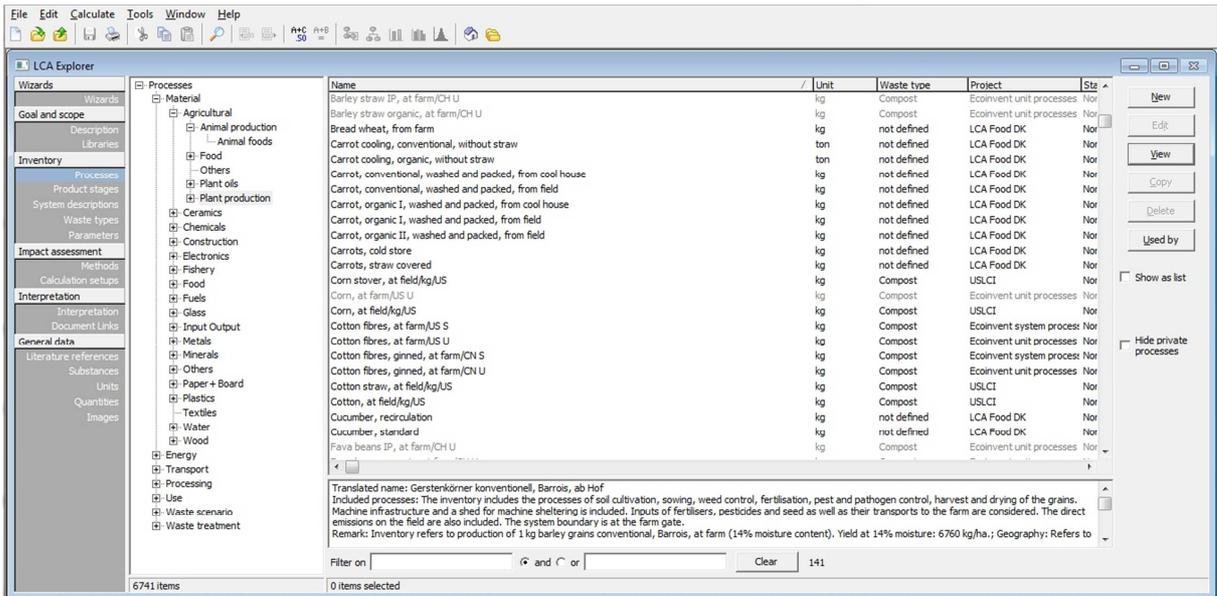


Figura 32 – Processos e produtos abertos no Simapro

Apesar de poucos dados referentes ao Brasil, é possível adaptar os inventários existentes no *software*, de modo que esses representem melhor o cenário em avaliação, ou ainda, criar outros inteiramente novos (ACV BRASIL, 2011).

5.3 QUALIDADE DOS DADOS

Ao projetar um estudo de ACV, primeiramente deve-se projetar um perfil dos dados que se deseja obter.

De acordo com a ISO/TR 14047 (2003), as ferramentas de qualidade dos dados mencionados na ISO 14042 (2004) compreendem: análise de gravidade, análise de incerteza e análise de sensibilidade. Tais ferramentas podem ser aplicadas aos diferentes níveis do processo de análise de impacto: resultados do inventário do ciclo de vida, resultados do indicador, resultados normalizados e resultados ponderados (FERREIRA, 2004).

A qualidade dos dados considerados é uma preocupação constante da ACV e para avaliar as consequências da sua variação executam-se análises de incerteza e de sensibilidade. Esses requisitos, chamados de RQD, são: horário da coleta de dados, região, representatividade e tipo de tecnologia, sistema de repartição e de fronteiras e limites do sistema. Segundo Carvalho (2008), o objetivo desses indicadores é ajudar a compreender em que medida os dados, a partir de bibliotecas, são compatíveis com as exigências do seu próprio projeto.

O *software* compara perfis dos dados com o definido para o estudo. A comparação tem o objetivo de auxiliar o entendimento sobre o nível de consciência entre os dados das bases e os requisitos de qualidade de cada estudo de ACV. Para facilitar tal análise, o programa mostra até que ponto os dados preenchem esses requisitos (PRÉ CONSULTANTS, 2009):

- Verde: os dados são aplicáveis ao estudo;
- Amarelo: os dados são relativamente aplicáveis ao estudo;
- Laranja: há pouco relacionamento entre os dados; e
- Vermelho: embora possam ser utilizados, os dados estão fora do alcance dos requisitos de qualidade do estudo.

5.4 DEFINIÇÃO DE OBJETIVO E ESCOPO

No *software* Simapro existe uma seção especial para descrever o objetivo e o escopo de cada projeto. Essa seção divide-se em duas partes:

- Campos de texto, nos quais o usuário pode descrever os diferentes aspectos necessários para a definição e escopo do projeto.
- A seção de bibliotecas, que permite que o usuário defina quais bibliotecas serão mais apropriadas para o estudo.

Com as duas partes o usuário tem um guia para os estudos da ACV consistentes de acordo com as diretrizes da ISO.

O escopo do estudo descreve as escolhas metodológicas mais importantes. A partir dele é que se dá início às demais etapas.

5.5 CRITÉRIOS DE CORTE DENTRO DO SISTEMA

Em muitos estudos de ACV a árvore de processos pode se tornar grande, algumas podem conter até mais de 4.000 processos. No entanto, podem existir entre esses processos os que quase não contribuem efetivamente para a carga ambiental, ou seja, são irrelevantes na pontuação da categoria de impacto.

Nesse caso, o *software* permite que o usuário defina a percentagem desejada do corte: o usuário pode ir ajustando o corte de modo que apareçam somente os processos mais significativos para as categorias de impacto.

5.6 UNIDADE DE PROCESSO E SISTEMA DE PROCESSO

Cada processo dentro do Simapro é fornecido em duas versões: unidade de processo (*Unit process*) e sistema de processo (*System process*). É o usuário quem escolhe a versão, sendo que os resultados finais não são significativamente influenciados.

Na escolha de unidade de processo são apresentadas as entradas e saídas para todas as etapas do processo. Na escolha por sistema de processo, ao invés de entradas e saídas, são apresentadas todas as substâncias em um só processo, ou seja, o sistema de processo é como uma caixa preta, o resultado de uma ACV global de um determinado processo ou produto, como mostra o Quadro 2 (PRÉ CONSULTANTS, 2010b).

Quadro 2 - Diferenças entre Unidade de processo e Sistema de processo

Unidade de Processo	Sistema de Processo
<ul style="list-style-type: none"> • Processo transparente em árvore, que permite traçar a contribuição de todos os processos de todas as unidades. • Permite cálculo de incerteza - Análise de Monte Carlo. • Cálculo relativamente lento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Árvore de processo simples (Caixa preta). • Não permite cálculo de incerteza – Análise de Monte Carlo. • Cálculo rápido, desde que exista um único sistema.

Fonte: PRÉ CONSULTANTS, 2010b

5.7 MÉTODOS DE ANÁLISE DE IMPACTO

Para o caso da análise de impacto, algumas análises mais simples podem ser realizadas a partir dos dados obtidos na fase do inventário. Entretanto, Carvalho (2008) cita que quando forem detectadas grandes diferenças nos vários parâmetros de impacto ou ainda quando houver necessidade de se relacionar os dados do inventário aos problemas ambientais, o uso de uma metodologia específica é essencial.

O Simapro vem com um grande número de métodos de análise de impacto, e cada método contém geralmente de 10 a 20 categorias de impacto; alguns permitem a agregação em um único escore, outros não (PRÉ CONSULTANTS, 2010a).

Pelas bases de dados do *software* Simapro pode-se obter os fatores de caracterização, normalização e de ponderação utilizados em cada um dos métodos. Alguns deles são:

Europeus

- CML 2000
- Ecological Scarcity 2006
- EDIP 2003
- EPD 2007
- Ecoindicador 99
- EPS 2000
- IMPACT 2002+
- Recipe

Norte-Americanos

- BEES
- TRACI

Aspecto único

- Cumulative Energy Demand - CED
- Ecologicalfootprint
- Ecosystem Damage Potential
- GHG Protocol
- IPCC 2007
- Selected LCI results

Em um estudo de ACV as emissões e as extrações de recursos são expressas em diferentes categorias de impactos. No entanto, este tipo de resultado é difícil de ser ponderado. Bengtsson e Steen (2000) relatam que analisar os resultados de um

inventário de ACV em um índice único é possível, por meio de métodos de ponderação.

Dessa forma, o uso de Ecoindicador resolve o problema, facilitando o manejo dos resultados da ACV, transformando os dados da tabela de inventário em escores de danos que podem ser agregados em categorias ou até em um único escore, dependendo da necessidade do usuário (CARVALHO, 2008).

De acordo com a Pré Consultants (2009), o Ecoindicador agrega os resultados em forma de valor, utilizando procedimentos diferenciados para estabelecer relações entre os resultados do inventário e dos danos potenciais em cada categoria.

Os principais métodos do Simapro utilizam indicadores *Midpoints* ou *Endpoints*. Os indicadores *Midpoints* são definidos perto da intervenção, ou seja, são indicadores baseados em pontos intermediários, conhecidos pela abordagem orientada ao problema. Nesta abordagem são calculadas as causas do impacto, por exemplo, potencial de toxicidade humana, potencial de acidificação, entre outras (PRÉ CONSULTANTS, 2010b).

Já os indicadores *Endpoints* são definidos próximo ao dano ambiental causado, ou seja, são indicadores de pontos finais de categoria, conhecidos pela abordagem orientada ao dano. Nesta abordagem são calculados os efeitos dos impactos (PRÉ CONSULTANTS, *op. cit.*).

Na literatura se encontra disponível vários trabalhos relacionados às metodologias de ACV, das quais se destacam: CML, EDIP 2003, Ecoindicador 99 e IMPACT 2002+.

Neste estudo, optou-se por utilizar os métodos de qualificação de impacto Recipe Midpoint (E) em conjunto com o método CED – Cumulative Energy Demand.

5.7.1 Recipe

A escolha pelo método Recipe se deu pelo fato do método agregar vantagens dos métodos Ecoindicador 99 e CML, os dois mais usados em projetos de ACV.

O método CML vem sendo atualizado desde o ano de 1992 (método CML 1992), chegando atualmente ao método CML 2001. O seu nome está relacionado com a entidade onde foi desenvolvido: o Centro de Gestão Ambiental da Universidade de Leiden, Holanda. Sua abordagem é do tipo problema-orientado (sem atribuição de pesos). Para cada problema, existem fatores de caracterização quantificados. Neste caso, uma emissão identificada no inventário do ciclo de vida é convertida em uma contribuição para o efeito de um problema multiplicando-a por um fator de equivalência (PRÉ CONSULTANTS, 2010a).

Por outro lado, a versão do método Ecoindicador 99 é baseada no dano, ligando os resultados de caracterização a três categorias de dano: saúde humana, qualidade do ecossistema e recursos. Neste caso, uma emissão identificada no inventário do ciclo de vida é convertida em uma contribuição para a categoria de impacto multiplicando-a por um fator equivalente (GOEDKOOOP; SPRIENSMA, 2000).

Dessa forma, o objetivo da criação do método Recipe foi o de integrar “a abordagem orientada ao problema” do CML, com “a abordagem orientada a danos” do Ecoindicador 99.

A primeira define as categorias de impacto no nível do ponto médio, na qual a incerteza dos resultados é relativamente baixa. A desvantagem dessa solução é que ela leva a muitas categorias de impactos diferentes, o que torna a elaboração de conclusões com os resultados obtidos mais ambíguos. Já a segunda resulta em apenas três categorias de impacto, o que torna a formulação das conclusões mais fácil, porém a incerteza dos resultados é maior. Dessa forma, o método Recipe implementa ambas as estratégias (PRÉ CONSULTANTS, 2010b).

Para a normalização do método, os pesos são obtidos por meio do consenso de grupos de interesse em ACV na Suíça. Devido ao fato do método Recipe ser modular, três estruturas podem ser aplicadas, refletindo diferentes sistemas de valor. Essas estruturas são: Igualitária (E), Individualista (I) e Hierárquica (H) (GOEDKOOOP *et al.*, 2009).

A estrutura Igualitária (E) trata-se de uma perspectiva que reflete uma maior precaução considerando uma perspectiva de longo prazo e considera impactos ambientais que ainda não se encontram completamente comprovados, mas para os

quais já existe disponível alguma evidência. A estrutura Individualista (I) é uma perspectiva baseada numa visão em curto prazo, considerando tipos de impactos ambientais mais consensuais e existe um otimismo tecnológico quanto à capacidade tecnológica em resolver problemas. E a estrutura Hierárquica (H) é baseada nas políticas mais comuns no que diz respeito ao espaço de tempo e outras questões (FIGUEIREDO, 2011).

Para o método *Midpoint* (ponto médio), o Recipe aborda 18 categorias de impacto:

- Mudança Climática
- Depleção do ozônio
- Acidificação Terrestre
- Eutrofização de água doce
- Eutrofização de água marinha
- Toxicidade à saúde Humana
- Formação de oxidantes fotoquímicos
- Formação de material particulado
- Ecotoxicidade Terrestre
- Ecotoxicidade de Água Doce
- Ecotoxicidade Marinha
- Radiação Ionizante
- Ocupação de terras agrícolas
- Ocupação do solo urbano
- Transformação da terra natural
- Depleção da água
- Depleção de metal
- Depleção fóssil

Das 18 categorias do método Recipe Midpoint (E), optou-se por trabalhar com somente 10 delas, excluindo as categorias: ecotoxicidade marinha, radiação ionizante, ocupação de terras agrícolas, ocupação do solo urbano, transformação de terra natural, depleção da água e esgotamento de combustíveis fósseis. Elas foram descartadas do estudo por não apresentarem impactos relevantes à pesquisa.

A seguir, serão descritas as principais categorias contempladas neste estudo, de acordo com os autores: Goedkoop (2009), Goedkoop e Spriensma (2000), Udo de Haes et al. (1999), Passuello e Cybis (2007) e Ferreira (2004).

Mudança Climática

Modelos de mudança climática são geralmente desenvolvidos para avaliar o impacto ambiental futuro de diferentes cenários.

Quantidades crescentes de gases que provocam o efeito estufa na atmosfera terrestre como: CO₂, N₂O, CH₄ entre outros, estão conduzindo a uma absorção cada vez maior das radiações emitidas pela Terra e, conseqüentemente, ao aquecimento global.

Os gases de efeito estufa (GEE) são expressos em termos de massa de CO₂, usando para tanto o conceito de Potencial de Aquecimento Global (*GWP – Global Warming Potential*). Segundo Salles (2009), o GWP compara o forçamento radiativo de uma tonelada de um determinado gás de efeito estufa durante um determinado período (por exemplo, 100 anos) com uma tonelada de dióxido de carbono. O forçamento radiativo é uma etapa do cálculo de elevação de temperatura global da camada da atmosfera junto à superfície da Terra, mas ele não representa diretamente esse aumento de temperatura.

Dessa forma, o forçamento radiativo (*radiative forcing*) das mudanças climáticas constitui um índice dos impactos médios globais relativos sobre o sistema superfície-troposfera devido a causas naturais e antrópicas.

O manual do IPCC estima um tempo de vida para CO₂ de 150 anos, e esse dado é usado para os cálculos do *software*.

A segunda parte do fator de temperatura é a mudança da temperatura por uma determinada emissão durante um determinado período de tempo.

Para calcular os impactos dessa categoria, utilizam-se os dados de inventário de emissão de gases efeito estufa. O indicador da categoria é o aumento da radiação infravermelha, em Watts por metro quadrado (W/m²). O fator de caracterização é o potencial de aquecimento global, para um horizonte de tempo de 20, 100 e 500

anos, para cada emissão, em relação ao dióxido de carbono (kg CO₂ eq/ kg emissão). O resultado do indicador é expresso em massa de CO₂ equivalente (kg CO₂ eq), que representa o potencial deste impacto que seria causado pelo CO₂.

Essa categoria está relacionada a anos de vida perdidos, destruição de recifes de corais, mudanças no ecossistema entre outros. A mudança climática também tem efeitos sobre a saúde humana. Alguns efeitos diretos são as ondas de calor e poluição do ar. Outros efeitos, como desnutrição e transmissão de doenças infecciosas, são considerados efeitos indiretos. A frequência e a intensidade dependem do tempo e região; também, dependendo do tempo, o ser humano pode adaptar-se, diminuindo os danos. Mas, no geral, a saúde humana é sensível às variações climáticas e essas em longo prazo sempre terão algum efeito, negativo ou positivo, sobre a saúde da população global.

Depleção de ozônio

O ozônio é continuamente formado e destruído pela ação da luz solar e reações químicas na estratosfera. A depleção do ozônio ocorre quando o cloro reage com um oxigênio presente no O₃, espessando a camada. Com o espessamento da camada de ozônio, a incidência de radiação ultravioleta fica mais nociva.

O aumento da quantidade de raios ultravioleta que atingem a superfície da Terra acarreta no desenvolvimento de doenças, danos a diversos tipos de materiais e interferência no ecossistema.

Nesta categoria de impacto utiliza-se o modelo desenvolvido pela *World Meteorological Organization* para definir potenciais de depleção da camada de ozônio – ODP, de diferentes gases em kg equivalentes de CFC-11/kg de emissão. O ODP consiste na relação entre a decomposição do ozônio no estado de equilíbrio devido a emissões anuais (fluxo em kg.ano⁻¹) de uma quantidade de substância emitida para a atmosfera e a decomposição do ozônio no estado de equilíbrio devido a uma quantidade igual de CFC-11.

Dessa forma, são utilizados os resultados de emissão de gases agressivos à camada de ozônio do inventário do ciclo de vida. Seu indicador é a redução da

camada de ozônio e o fator de caracterização é o potencial de depleção de cada emissão (kg CFC-11 eq/ kg emissão).

Acidificação Terrestre

A acidificação é a deposição ácida, resultante de óxidos de nitrogênio e enxofre para a atmosfera, para o solo ou para a água, que pode conduzir a mudanças na acidez da água e do solo, afetando a fauna e a flora.

As principais substâncias contribuintes para a acidificação são o SO_2 , NO_x e NH_x . Esses poluentes impactam o solo, a água subterrânea, águas superficiais, organismos biológicos, ecossistemas e materiais (edifícios). O potencial de acidificação consiste na relação entre o número de potenciais equivalentes H^+ por unidade de massa da substância i , e o número de potenciais equivalentes H^+ por unidade de massa de uma substância de referência.

O indicador desta categoria é expresso em máxima liberação de prótons (H^+) e o fator de caracterização é o potencial de acidificação de cada emissão (kg SO_2 eq/ kg de emissão).

Eutrofização de água doce

A eutrofização é o enriquecimento da água ou solo em nutrientes, nitrogênio e fósforo, que podem causar indesejáveis mudanças na composição de espécies nos ecossistemas e uma redução na diversidade ecológica. Nas águas superficiais ocorre o crescimento desordenado de algas, o que causa a diminuição do oxigênio dissolvido.

As emissões de nitrogênio e fósforo podem ser convertidas em biomassa com base na composição molecular das algas. Isso permite a agregação e fornece fatores de caracterização universais que são independentes das condições ambientais locais.

O método Recipe utiliza o modelo de análise integrada *Cause Effect Relation Model to support Environmental Negotiations*– CARMEN, que calcula a mudança na carga de nutrientes no interior das águas e nas regiões costeiras com base nas emissões, como, por exemplo, da agricultura.

A determinação do impacto desta categoria utiliza a emissão de nutrientes registrados no inventário do ciclo de vida. O fator de caracterização é o potencial de nitrificação de cada emissão à água em relação ao fosfato (kg P eq/ kg emissão).

Toxicidade à Saúde Humana

A categoria de impacto toxicidade humana cobre os impactos sobre a saúde humana, ocasionados por substâncias tóxicas presentes no ambiente, relativas à exposição por ingestão ou inalação.

Esse método não leva em conta o destino ambiental dos poluentes no meio ambiente. Desta forma, assumem que o destino e exposição para todas as substâncias tóxicas são equivalentes.

Seus valores de caracterização estão relacionados a efeitos toxicológicos crônicos, estimativas do risco toxicológico acumulado e impacto associados a uma determinada massa de um elemento químico emitido ao meio ambiente.

Seu indicador pode ser medido em kg de 1,4-diclorobenzeno/dia (kg 1,4-DB⁶ eq/ kg de emissão).

Formação de oxidantes fotoquímicos

Sob a influência dos raios ultravioletas, os óxidos de nitrogênio reagem com as substâncias orgânicas voláteis, produzindo oxidantes que causam o nevoeiro fotoquímico. Este impacto está relacionado às emissões atmosféricas de compostos orgânicos voláteis e monóxido de carbono. A unidade é expressa em COV⁷.

Formação de partículas

Substâncias inorgânicas e material particulado estão relacionados a efeitos respiratórios humanos. As emissões atmosféricas que causam o contato com essas substâncias são material particulado, NO_x, NH₃, CO, compostos orgânicos voláteis e SO_x. Os valores de caracterização estão relacionados a emissões de material particulado com diâmetro aerodinâmico menor que 10 micrômetros. O fator de

⁶ 1,4 – Diclorobenzeno.

⁷ COV - Compostos Orgânicos voláteis não metânicos.

caracterização de formação de partículas é a fração de ingestão de MP_{10} ⁸. A unidade é expressa em massa de PM_{10} equivalente por ano (Kg MP_{10} eq/ano).

Depleção fóssil

Este impacto está associado à utilização de grandes quantidades de combustíveis derivados do petróleo, gás natural e carvão mineral, uma vez que as reservas existentes levaram em média dois milhões de anos para se formarem. O fator de caracterização do esgotamento dos combustíveis fósseis é a quantidade de combustível fóssil extraído, com base no poder calorífico superior. A unidade é expressa na massa total de óleo equivalente (kg óleo equivalente).

5.7.2 Demanda de Energia Acumulada

O método *Cumulative Energy Demand* (CED), em português Demanda de Energia Acumulada, foi desenvolvido na década de 70, pela Federação Internacional de Institutos de Estudos Avançados (*International Federation of Institutes for Advanced Studies* – IFIAS), após a primeira crise no preço do petróleo. É um indicador de impacto de triagem e desempenho energético a fim de fornecer uma visão global razoável dos impactos ambientais dos produtos e estimativa de esgotamento dos recursos energéticos (PRÉ CONSULTANTS, 2010a).

O CED possui o objetivo de investigar o uso de energia em todo o ciclo de vida de um bem ou serviço, em vista de insumos energéticos diretos e indiretos. Insumos energéticos diretos referem-se à quantidade de energia primária necessária para a fabricação, utilização e fim de vida no ciclo de vida.

De acordo com Hischier (2009), “os dados sobre a demanda de energia acumulada formam uma base importante para apontar as potenciais prioridades de economia de energia em sua complexa relação entre design, produção, utilização e eliminação”. No entanto, a Demanda de Energia Acumulada – CED é também amplamente utilizada como um indicador de triagem para os impactos ambientais.

Tal método pode ser um bom ponto de partida na avaliação do ciclo de vida. No entanto, ele não substitui uma análise feita com a ajuda de métodos de avaliação de

⁸ Partículas com diâmetro aerodinâmico equivalente inferior a 10 micrômetros.

impactos mais abrangentes, porque este método só faz sentido em combinação com outros métodos (HISCHIER, 2009).

As categorias secundárias de energia térmica e a de energia elétrica podem distinguir o consumo de energia nos diferentes estágios do ciclo de vida. Em alguns casos, adiciona-se ainda a categoria de reserva de energia, que contabiliza o valor calorífico de um material quando esse também pode ser considerado como um vetor energético (PRÉ CONSULTANTS, 2010a).

Os resultados no método CED são apresentados em duas categorias: recursos energéticos não renováveis e recursos energéticos renováveis.

Segundo Jannuzzi e Swisher (1997), as fontes de energia são consideradas renováveis quando seu uso pela humanidade não causa uma variação significativa nos seus potenciais e suas reposições em curto prazo são relativamente certas. Por outro lado, são consideradas não renováveis as fontes de energia que necessitam de longos períodos (séculos) para suas reposições naturais.

O método CED analisa como recursos não renováveis os combustíveis fósseis, a energia nuclear e a biomassa. Por não apresentarem dados representativos foram excluídos desse trabalho os recursos não renováveis.

Como recursos energéticos renováveis, o método CED analisa a água, biomassa e energias: eólica, solar e geotérmica. A categoria água compreende as hidrelétricas no método CED e a biomassa para recursos renováveis compreende toda matéria orgânica (de origem animal ou vegetal renovável) que pode ser utilizada na produção de energia (FUKUROZAKI, 2011). No presente estudo, foram consideradas somente as categorias renováveis água e biomassa.

O indicador desta categoria é o conteúdo energético desses recursos ou o poder calorífico inferior⁹ total, em megajoules (MJ). Esta categoria possui efeitos relacionados à mobilidade e aquecimento, bem como aos problemas relativos às crises energéticas.

⁹ Poder calorífico é a energia liberada (fornecida) por meio da queima de algum combustível. Sendo superior quando se tem comburente em excesso e inferior quando se tem combustível em excesso.

6 METODOLOGIA

O objetivo deste trabalho, conforme descrito na seção 1.1, é o uso da técnica de avaliação do ciclo de vida para realizar o diagnóstico de impactos ambientais das etapas de cotonicultura, algodoeira e fiação do algodão.

A metodologia adotada para o desenvolvimento deste trabalho consiste em quatro fases para a conclusão da ACV: a primeira, definição do escopo e objetivo; a segunda, realizar o inventário; a terceira, referente à análise dos impactos; e a quarta, a interpretação e conclusão do estudo.

Este estudo foi realizado na Cocamar Cooperativa Agroindustrial de Maringá, instalada no interior do Paraná, na cidade de Maringá, vide Figura 33.

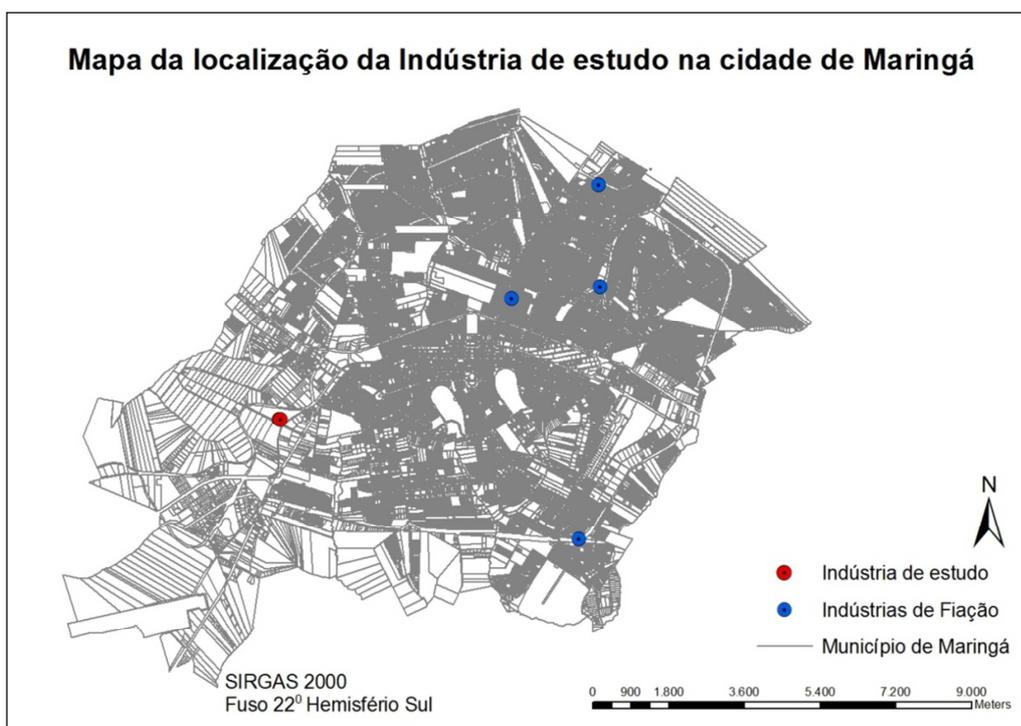


Figura 33 - Localização da indústria de estudo na cidade de Maringá
Fonte: Cadastro Indústrias Têxteis – Prefeitura Municipal de Maringá, 2011

Para a realização desta ACV verificou-se a necessidade do uso de recursos computacionais, pelo elevado volume de dados coletados e a necessidade de utilização dos bancos de dados para as fases de cotonicultura e algodoeira. Além disso, o *software* permite relacionar os dados a diferentes categorias de impacto e segundo diferentes metodologias. Para este estudo elegeu-se o *software* Simapro, versão 7.3.

A avaliação do ciclo de vida tem como objetivo analisar os impactos ambientais potenciais das fases de cotonicultura, algodoeira (plantio do algodão) e fiação de algodão. Na primeira fase, foi definido o escopo do estudo, e analisadas as limitações da pesquisa e as necessidades de consultas à literatura para obtenção de dados.

Nesta etapa do trabalho, muitas delimitações tiveram que ser realizadas para que se obtivesse um inventário que satisfizesse os objetivos dentro das limitações existentes como tempo, recursos humanos e financeiros.

Dessa forma, optou-se por usar o banco de dados do *software* Simapro para obtenção dos dados referentes à etapa de plantio do algodão, e realizar a coleta dos dados somente da etapa de fiação e transporte.

Em seguida, foi realizada a identificação de toda a cadeia produtiva do algodão. Por meio de relatórios de produção cedidos pela cooperativa na unidade de fios têxteis, foram obtidos os dados necessários para o estudo da etapa da fiação e transporte.

Com os relatórios de produção, foram identificadas as entradas e saídas existentes no processo produtivo da fiação.

A unidade funcional foi definida como sendo 1 kg de fio têxtil de algodão.

Com os dados iniciais definidos, montou-se o inventário no *software*. Inicialmente foi dado nome ao projeto e inseridas algumas anotações como objetivo e fronteiras.

Em seguida, buscou-se na biblioteca do *software* um processo compatível ao plantio de algodão no Brasil. Nesse processo foram feitos alguns ajustes de energia, de modo a deixá-lo compatível com o Brasil.

Após conclusão do processo de cultivo e beneficiamento do algodão, iniciou-se o processo de inventário dos fios têxteis, abrindo uma nova categoria de processo. Primeiramente preencheu-se a etapa de “documentação”, no qual foram completados os campos de nome do projeto, data de criação, tipo de processo, categoria, método de coleta e verificação.

Após a documentação, foram preenchidos os dados nas “Entradas e Saídas”, que compreende os campos: Saídas conhecidas para esfera tecnológica (produtos e coprodutos), entradas conhecidas da natureza (recursos), entradas conhecidas da esfera tecnológica (materiais, combustíveis, eletricidade e calor), emissões para o ar, emissões para água, emissões para o solo, fluxos finais de resíduos e emissões para tratamento. Por fim, os dados foram agregados e as fronteiras do sistema refinadas.

Para a análise do inventário foram definidos os métodos de impactos a serem utilizados, e escolhidas as categorias que representavam melhor estes impactos.

E, por fim, foi realizada a interpretação da análise dos métodos escolhidos. As considerações finais deste trabalho representarão a última etapa, mostrando todos os pontos relevantes encontrados durante este estudo.

7 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE ACV NO ESTUDO DE CASO

7.1 DEFINIÇÃO DO OBJETIVO E ESCOPO DO PROJETO

Objetivo do estudo - Avaliar, do ponto de vista ambiental, a cadeia produtiva do algodão, nas etapas de plantio e fiação.

A quem se destina o estudo – O grupo alvo deste estudo são os estudantes, profissionais da área, empresas do ramo do algodão e também potenciais interessados no desenvolvimento da metodologia da ACV.

Unidade funcional (u.f.) – 1 kg de fio de algodão.

Âmbito do estudo – Estudar os processos de plantio do algodão (cotonicultura + algodoeira) e fiação convencional de fios 100% algodão.

Tipo de dados – Os dados relativos ao processo de plantio do algodão foram realizados com base no processo “Yarn cotton at plant/GLO U” do *software* Simapro. Já os dados relativos ao processo de fiação são específicos da Cooperativa Cocamar, por isso, considerados dados primários.

Requisito de Qualidade dos Dados: Os dados mais representativos para qualquer Avaliação do Ciclo de Vida são os primários; entretanto, devido às limitações de tempo para a realização da pesquisa, utilizam-se dados secundários para a etapa do plantio do algodão e dados primários em conjunto com secundários para a etapa de fiação, para que o trabalho seja viável.

Fonte dos dados - Os dados relativos ao plantio do algodão e suas emissões foram obtidos na biblioteca “Ecoinvent Unit Process” do *software* Simapro. Já os dados relativos ao processo de fiação foram obtidos por meio de relatórios de produção da Cooperativa Cocamar.

Período de tempo – Os dados relativos ao plantio do algodão referem-se aos anos de 2001-2006, conforme descrito na biblioteca do sistema, enquanto que os dados relativos ao processo de fiação foram coletados durante o mês julho de 2010.

Localização geográfica – A cooperativa em estudo localiza-se na cidade de Maringá, interior do Paraná. A matéria-prima usada pela cooperativa (fardos de algodão) é de origem dos Estados de Goiás e Mato Grosso.

Fronteiras do sistema: O presente estudo abordou as seguintes unidades de processo:

- Plantio do algodão (Cotonicultura + Algodoeira);
- Transporte das plumas até a fábrica;
- Fiação do fio de algodão.

A fronteira do sistema pode ser simplificada de acordo com a Figura 34:

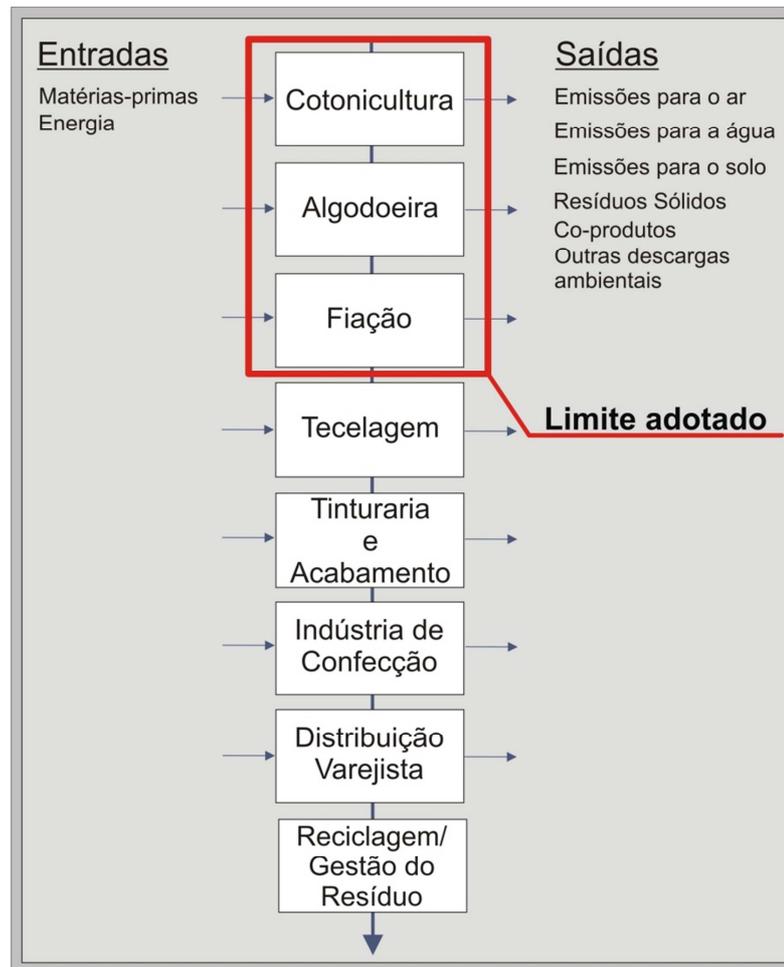


Figura 34 – Fronteiras do estudo

Procedimentos de alocação: Somente foram adotados critérios de alocação para o processo de produção dos fios de algodão, em que parte dos resíduos gerados são vendidos para diversos fins na cooperativa. O critério utilizado será explicado na descrição do inventário.

Metodologia da ACV e tipos de impactos: Para a caracterização do perfil ambiental foram utilizados os métodos RECIPE MIDPOINT (E) e o CED – Cumulative Energy Demand.

7.2 PROCESSO PRODUTIVO

Este item irá detalhar todo o processo de fiação do algodão, desde a obtenção da matéria-prima e a coleta de dados para todo o processo.

A cadeia produtiva do algodão até a fiação pode ser dividida em três macroprocessos, cada qual com seus processos elementares.

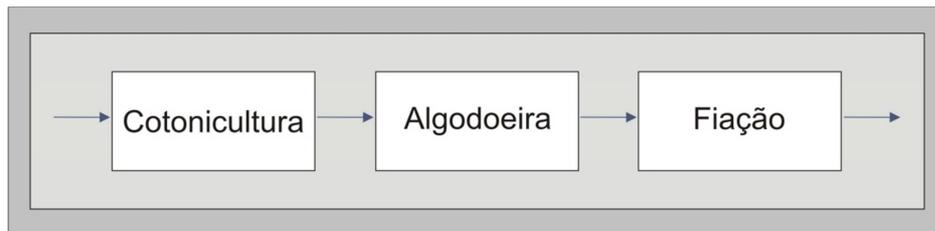


Figura 35 – Macroprocessos

7.2.1 Cotonicultura e Algodoeira

As etapas da cotonicultura e algodoeira vão desde o processo de plantio do algodão até a obtenção do algodão em pluma.

O plantio do algodão se inicia com a preparação do solo, geralmente feita em uma aragem se o cultivo do algodão já foi realizado na terra, ou duas para solos mais danificados e sem o cultivo do algodão anteriormente. Também nesta etapa são realizados a sementeira, o controle de plantas daninhas, adubação, o controle de pragas e a colheita do algodão.

Após a colheita, o resultado da produção (o algodão em caroço) passa por um processo de beneficiamento que consiste em separar as fibras das sementes, por meio de processos mecânicos em que se retira o caroço, obtendo-se fibras limpas e prontas para a fiação. O produto resultante desse processo é o algodão em pluma.

Os dados para todo o processo de plantio até a obtenção da pluma foram retirados da biblioteca do *software* Simapro.

7.2.2 Fiação

O processo de fiação do algodão na Cooperativa Cocamar é realizado por filatório anel, que é o método convencional de fiação.

No método convencional, as maçarqueiras estiram as mechas de fibra, inserindo um grau mínimo de torção. Essas mechas são torcidas posteriormente pelos filatórios para a elaboração dos fios, que são enrolados em cones, passando por etapas de monitoramento e limpeza, como descritos no Capítulo 3.

A Cooperativa Cocamar cedeu os relatórios do processo de fiação do algodão, do qual foram extraídos os dados.

Para a pesquisa adotou-se o mês de julho de 2010, no qual foram produzidos 241.724,93 kg de fios de algodão convencional. Para essa produção foram utilizados 275.085,0650 kg de matéria-prima (algodão em pluma), como mostra a Tabela 2:

Tabela 2 – Consumo de matéria-prima da fiação convencional no mês de julho/2010

Matéria-prima	Quantidade (kg)
Algodão em pluma 5/0 gelo	8.019,5660
Algodão em pluma 6/0 coral	137.186,2690
Algodão em pluma 5/6 gema	129.879,2300
Total Algodão em pluma	275.085,0650

Fonte: Relatório Cocamar do mês de julho, 2010

Segundo o relatório fornecido pela cooperativa o consumo de energia para o mês de julho/2010 foi de 3,319 KWh/kg de fio, a emissão atmosférica (material particulado – fibras) foi de 3,221 mg/m³ e o total de resíduos sólidos gerados foi de 29.773,04 kg, dos quais 15.920,31 kg foram recuperados e inseridos novamente na produção e 13.852,54 kg foram vendidos para diversos fins, como mostra a Tabela 3.

Tabela 3 – Resíduos sólidos produzidos na Fiação Convencional em julho/2010

Resíduos	Quantidade (Kg)
Varredura do piso	2.371,19
Têxteis piolho sujo	6.780,25
Estopa de algodão	1.628,80
100% algodão	105,20
Pó de filtro	2.967,29
Recuperado	15.920,31
Total	29.773,04

Fonte: Relatório Cocamar do mês de julho, 2010

7.2.3 Transporte

Para este estudo foram considerados os transportes de matéria-prima até a cooperativa. A origem dos produtos foi cedida pela cooperativa e a distância percorrida foi calculada por meio de simulações de rotas padrão no Google Maps.

Tabela 4 – Transporte de matéria-prima

Insumo	Origem	Distância Percorrida	Transporte	Combustível
Algodão em pluma	Mato Grosso	1261 km	Caminhão Grande Porte	Óleo Diesel
Algodão em pluma	Goiás	961 km	Caminhão Grande Porte	Óleo Diesel
Distância média dos Estados para Maringá			1111 km	

Fonte: Relatório Cocamar do mês de julho, 2010

7.3 ANÁLISE DO INVENTÁRIO

Neste item estão descritas as etapas finais da ACV: Compilação e Análise do Inventário do Ciclo de Vida.

No *software* Simapro foram criados quatro processos: Matéria-prima: plumas de algodão (Plantio do Algodão e Descaroçamento do Algodão), processos de fiação, Transporte de matéria-prima e eletricidade; e para cada um foi gerado um inventário.

Para o inventário da etapa de plantio do algodão foi copiado o projeto “*cotton fibres, at farm/kg/US*” da categoria de processos da biblioteca “*Ecoinvent System Process*” e renomeado para “Plantio do Algodão”.

O inventário da etapa de descaroçamento do algodão seguiu o mesmo princípio do anterior; foi copiado o projeto “*cotton fibres, ginned, at farm/kg/CN*” da mesma biblioteca e renomeado para “Descaroçamento do Algodão”.

O inventário do plantio e do descaroçamento do algodão inclui os processos de cultivo do solo, semeadura, controle de plantas daninhas, adubação, controle de pragas e patogênicos, colheita e descaroçamento. Também inclui a infraestrutura,

como maquinário e galpão. Neste projeto foram consideradas as entradas de fertilizantes, pesticidas, sementes, bem como seus meios de transporte para a fazenda e as emissões diretas no campo.

A unidade funcional para o inventário do plantio e descaroçamento do algodão é a produção de fibras de 1 kg de sementes de algodão, ambos com teor de umidade de 6%.

Para a produção de fios de algodão foi copiado o projeto “yarn production, cotton fibres/kg/GLO” e renomeado para “Fios de Algodão”. Neste projeto foram inseridos os dados recolhidos da Cocamar Cooperativa Agroindustrial, especificados no capítulo anterior.

O inventário da produção de fios inclui o consumo de energia, transporte, infraestrutura, emissões atmosféricas e resíduos sólidos gerados na fábrica.

A unidade funcional para o inventário da produção de fios de algodão é a de 1 kg de fio de algodão.

Para o inventário foi necessário transformar os dados recolhidos da cooperativa em relação a 1 kg de fio. Nesse caso, como existem resíduos que são vendidos para diversos fins; estes foram considerados coprodutos, e para o inventário fez-se uma alocação por massa, como mostra a fórmula abaixo:

$$\text{Resíduo para venda} = \text{Total de resíduos} - \text{Resíduos recuperados no processo}$$

$$\text{Resíduo para venda} = 13.852,54\text{kg}$$

$$\text{Para 1kg de fio de algodão} = \frac{13.852,54}{241.724,93} = 0,0573 \text{ kg de resíduos para venda}$$

Alocação por massa

1 kg de fio de algodão – 94,6%

0,0573kg de resíduos para venda – 5,4%

Para o cálculo do transporte admitiu-se 1 tonelada ao longo de 1 km, chegando-se ao valor de 1.111 t.km. Para 1 kg de fio de algodão, tem-se 1,11 t.km, como mostra a fórmula abaixo:

$$\text{Fator de Transporte} = \frac{1\text{ton}}{1000\text{kg}} \times 1.111\text{km} = 1,11 \frac{\text{t.km}}{\text{kg}} \text{ de fio de algodão}$$

Para a produção de 1 kg de fio de algodão, segundo os dados da Tabela 2, são necessários 1,13 kg de matéria-prima. Do mesmo modo, calcularam-se os resíduos sólidos gerados e a emissão atmosférica e chegou-se à relação de 0,14 kg de resíduos para 1 kg de fio produzido e $1,33 \cdot 10^{-8}$ kg de emissões atmosféricas por quilo de fio, como mostra a Tabela 5.

Tabela 5 – Entradas e Saídas do processo de Fiação

Saídas conhecidas para a esfera tecnológica. Produtos e coprodutos					
Nome	Quantidade	Unidade	Grandeza	Alocação	Comentários
Fio de Algodão	1	kg	massa	94,6%	Alocação de impacto por massa
Resíduos para venda	0,0573	kg	massa	5,4%	Resíduos vendidos para diversos fins
Entradas conhecidas da esfera tecnológica. Materiais e combustíveis					
Nome	Quantidade	Unidade	Comentários		
Fibras de Algodão	1	kg	Matéria-prima para produção de fios.		
Transporte de plumas para a cooperativa	1,11	t.km	Distância média dos Estados do Mato Grosso e Goiás até Maringá		
Entradas conhecidas da esfera tecnológica. Eletricidade/ calor					
Nome	Quantidade	Unidade	Comentários		
Eletricidade, alta voltagem, produção brasileira.	3,319	kWh	Quantidade oriunda de relatórios da cooperativa		
Emissões para o ar					
Nome	Quantidade	Unidade	Comentários		
Material particulado	$1,33 \cdot 10^{-8}$	kg	Quantidade oriunda de relatórios da cooperativa		
Fluxos finais de resíduos					
Nome	Quantidade	Unidade	Comentários		
Resíduos sólidos gerados no processo	0,13	kg	Quantidade oriunda de relatórios da cooperativa		

Fonte: Relatório Cocamar do mês de julho, 2010

7.4 ANÁLISE DE IMPACTO

Para a realização da Análise do Inventário do Ciclo de Vida foram utilizados os métodos RECIPE MIDPOINT (E) e CED – Cumulative Energy Demand por meio do *software* Simapro.

As categorias do Recipe utilizadas foram:

- Mudança climática;
- Depleção do ozônio;
- Formação de oxidantes químicos;
- Formação de partículas;
- Toxicidade humana;
- Acidificação terrestre;
- Eutrofização de água doce;
- Ecotoxicidade terrestre;
- Ecotoxicidade de água doce;
- Depleção fóssil.

O método CED foi usado como método complementar para análise de energia. As categorias do método CED utilizadas, foram:

- Recursos energéticos não renováveis – fóssil;
- Recursos energéticos renováveis – água.

Ao todo são dez categorias de impactos ambientais do método Recipe e mais duas categorias de impactos ambientais do método CED analisadas para esta Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida – AICV.

A totalidade dos impactos foi primeiramente dividida entre a produção de fios de algodão, a produção de matéria-prima: plumas de algodão, o transporte de plumas para a cooperativa e a energia elétrica utilizada, como mostram as Tabela 6 e Tabela 7 para o método Recipe e a Tabela 8 e Tabela 9 para o método CED.

Tabela 6 – Contribuição dos processos para os impactos ambientais: método Recipe - valores absolutos(.)

Categoria de Impacto	Unidade	MP - Plumas de Algodão	Processo de Fiação	Transporte e de MP	Eletricidade, alta voltagem, produção BR	Total
Mudança climática	kg CO ₂ eq	3,057988	0,130522	0,207098	0,577718	3,973326
Depleção do ozônio	kg CFC-11 eq	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Toxicidade à saúde humana	kg 1,4-DB eq	33,448314	5,694229	0,946303	1,433130	41,521976
Formação de oxidantes fotoquímicos	kg COV	0,011816	0,000346	0,001791	0,000859	0,014812
Formação de material particulado	kg MP10 eq	0,012507	0,000235	0,000461	0,000287	0,013491
Acidificação terrestre	kg SO ₂ eq	0,082487	0,000632	0,001310	0,000872	0,085300
Eutrofização de água doce	kg P eq	0,002725	0,000131	0,000018	0,000042	0,002916
Ecotoxicidade terrestre	kg 1,4-DB eq	0,012422	0,000239	0,000394	0,000177	0,013232
Ecotoxicidade de água doce	kg 1,4-DB eq	0,081428	0,002698	0,000533	0,000878	0,085537
Depleção fóssil	kg Óleo eq	0,202578	0,008057	0,043801	0,054801	0,254436

Fonte: Simapro, 2012

Tabela 7 – Contribuição dos processos para os impactos ambientais: método Recipe – percentual(.)

Categoria de Impacto	MP - Plumas de Algodão	Processo de Fiação	Transporte de MP	Eletricidade, alta voltagem, produção BR	Total
Mudança climática	77%	3%	5%	15%	100%
Depleção do ozônio	81%	2%	9%	8%	100%
Toxicidade à saúde humana	81%	14%	2%	3%	100%
Formação de oxidantes fotoquímicos	80%	2%	12%	6%	100%
Formação de material particulado	93%	2%	3%	2%	100%
Acidificação terrestre	97%	1%	2%	1%	100%
Eutrofização de água doce	93%	4%	1%	1%	100%
Ecotoxicidade terrestre	94%	2%	3%	1%	100%
Ecotoxicidade de água doce	95%	3%	1%	1%	100%
Depleção fóssil	77%	3%	9%	11%	100%

Fonte: Simapro, 2012

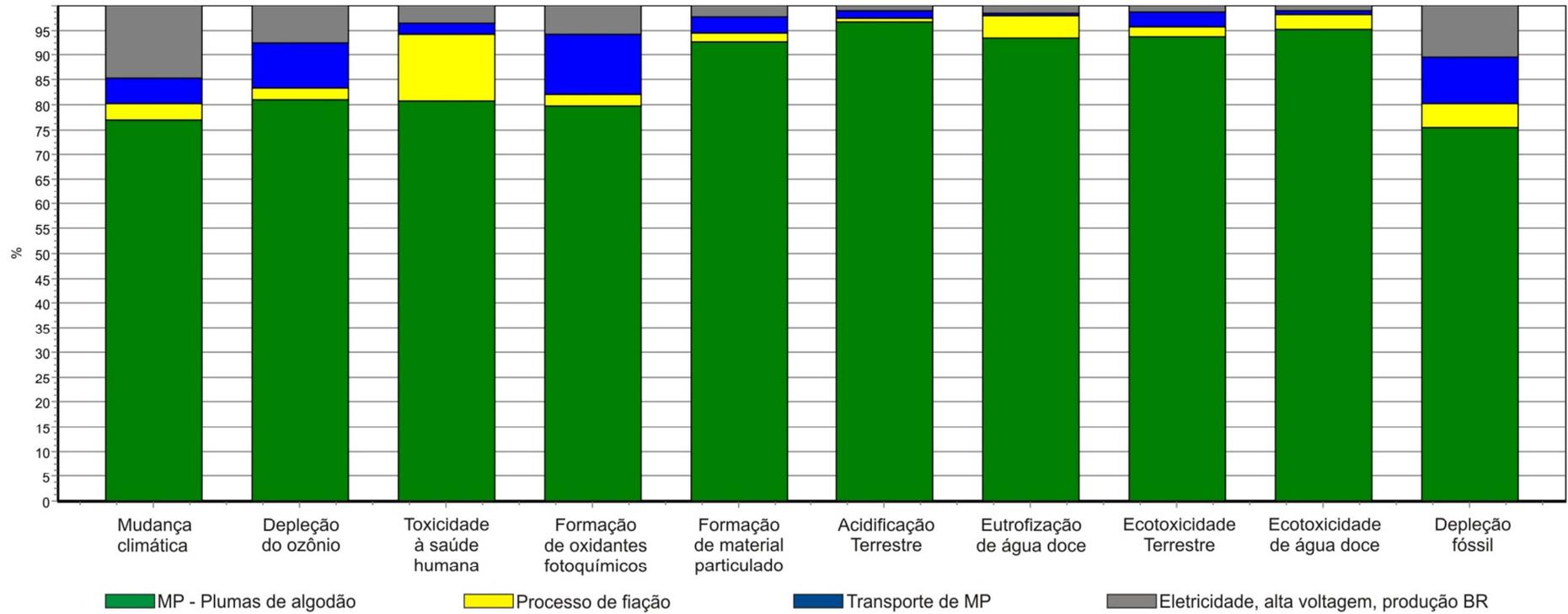


Figura 36 – Participação dos processos nas categorias de impacto analisadas pelo método RECIPE

Tabela 8 – Contribuição dos processos para os impactos ambientais: método CED – valores absolutos

Categoria	Unidade	Fios de Algodão	MP: Plumas de Algodão	Transporte de plumas à Cooperativa	Eletricidade, alta voltagem, produção BR	Total
Não Renovável, fóssil	MJ	1,626756	26,209257	3,282278	3,641256	34,759548
Renovável, água	MJ	0,103048	0,778059	0,033945	10,136760	11, 351813

Fonte: Simapro, 2012

Tabela 9 – Contribuição dos processos para os impactos ambientais: método CED – percentual

Categoria	Unidade	Fios de Algodão	MP: Plumas de Algodão	Transporte de plumas à Cooperativa	Eletricidade, alta voltagem, produção BR	Total
Não Renovável, fóssil	%	5%	75%	9%	10%	100
Renovável, água	%	1%	7%	0%	92%	100

Fonte: Simapro, 2012

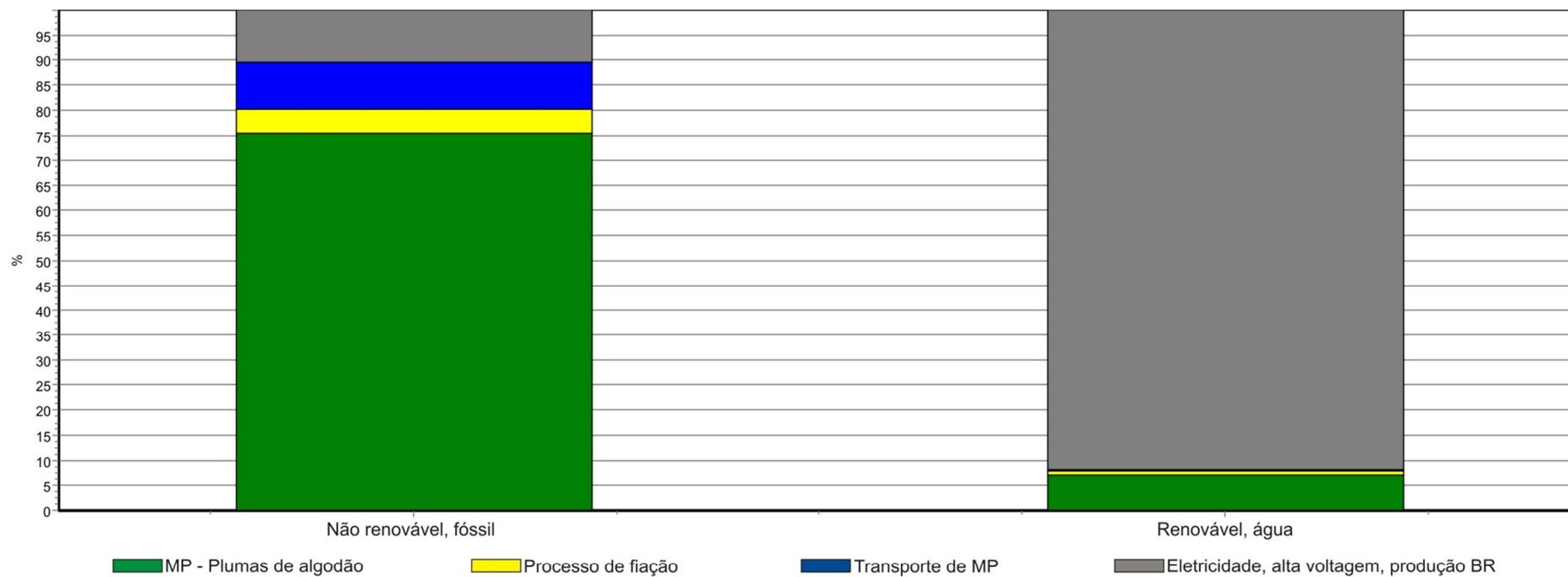


Figura 37 – Participação dos processos nas categorias de impacto analisadas pelo método CED

7.5 INTERPRETAÇÃO

Depois de concluído o Inventário do Ciclo de Vida, foi realizada a análise de impacto, a partir dos dados de inventário.

As ferramentas selecionadas foram o método RECIPE com indicador *midpoint* e distribuição de pesos uniformes (E) e o método CED, no nível de caracterização e de dano normalizado.

7.5.1 Método Recipe Midpoint (E)

O gráfico gerado pelo método RECIPE (Figura 36), apresenta as contribuições dos processos envolvidos. Analisando o gráfico, verifica-se que o cenário da produção de matéria-prima é o que apresenta maiores valores significativos de potencialidades de impactos considerados no estudo, seguido do processo de fiação, transporte e energia elétrica em menor proporção.

A seguir, serão interpretados os aspectos ambientais para cada uma das categorias com a apresentação dos gráficos individuais.

Mudança Climática

Este indicador de categoria de impacto está relacionado com as quantidades crescentes de gases que provocam o efeito estufa na atmosfera terrestre, a anos de vida perdidos, destruição de recifes de corais, mudanças no ecossistema, formação de ilhas de calor nos centros urbanos, entre outros.

De acordo com a Figura 38, a contribuição de impactos dos processos envolvidos divide-se em 77% relacionados à produção de matéria-prima: plumas de algodão (processo de plantio do algodão + beneficiamento), 3% ao processo de fiação, 5% ao transporte de matéria-prima e 15% à eletricidade. Sendo a emissão de CO₂ a causadora deste impacto, com 1,90 kg de CO₂ equivalentes para a produção de matéria-prima, 0,12 kg para o processo de fiação, 0,20 kg para o transporte e 0,54 kg para energia elétrica, em relação a 1 kg de algodão.

O dióxido de carbono (CO₂) é responsável por mais de 80% da poluição que gera o aquecimento global. O CO₂ acumulado na atmosfera bloqueia a saída de radiação

quente para o espaço e manda de volta esta radiação aquecida, causando o chamado Efeito Estufa.

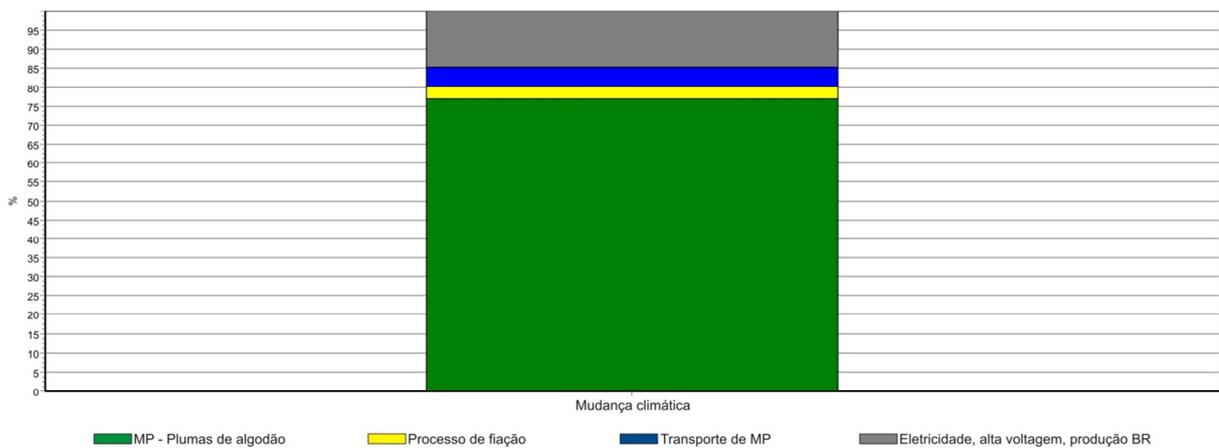


Figura 38 – Gráfico da Categoria Mudança Climática

A crescente emissão do gás dióxido de carbono (CO_2) na atmosfera é o que mais contribui para o aquecimento global, sendo seu tempo de permanência na atmosfera de no mínimo 100 anos. O que significa que as emissões de hoje possuem efeitos de longa duração, podendo resultar em impactos no regime climático, ao longo dos séculos.

A maior parte do CO_2 é liberada por processos industriais e pelo transporte de energia. Cabe ainda ressaltar que as plantas verdes absorvem CO_2 durante a fotossíntese, no entanto a quantidade de CO_2 liberada na atmosfera pelos processos industriais tem sido maior do que a capacidade de absorção das plantas.

A maior produção de CO_2 ligada à categoria de produção de matéria-prima deste estudo pode ser explicada pelo fato do CO_2 ser o fertilizante mais importante do mundo. As plantas necessitam do gás para o processo de fotossíntese, a quantidade maior de CO_2 significa mais fotossíntese e, dessa forma, mais crescimento.

Os países desenvolvidos são os principais emissores de dióxido de carbono na atmosfera por processos industriais. Todavia, alguns países em desenvolvimento como o Brasil, possuem uma elevada taxa de emissão por mudanças no uso do solo.

De acordo com o Banco Mundial, em seu “Relatório de Síntese Técnica para uso da terra, mudanças no uso da terra e florestas” (2010, p.40), as emissões de gases do

efeito estufa geradas pela produção agrícola são principalmente causadas por modificações nos estoques de carbono no solo e, em menor intensidade, por fertilizantes e resíduos, pela queima de resíduos agrícolas e pelo uso de combustíveis fósseis nas operações agrícolas.

Nas operações agrícolas, o óleo diesel, oriundo de energia fóssil, é o combustível considerado padrão para a geração de toda a energia dessas operações usada para mover as máquinas e implementos. De acordo com o IPCC (2006), cada 1 GJ de energia gerado com a queima de óleo diesel libera 73,5 kg CO₂ equivalentes.

Em relação à geração de energia elétrica, a emissão de CO₂, está relacionada à alteração do uso do solo, no caso, ao enchimento de reservatórios de usinas hidrelétricas em regiões florestadas, onde são produzidos gases CO₂ e CH₄ por decomposição aeróbica e anaeróbica da matéria orgânica (SANTOS, 2000).

Depleção do ozônio

A exaustão da camada de ozônio conduz ao aumento da quantidade de raios ultravioletas que atingem a superfície da Terra. O ozônio é um gás que filtra os raios ultravioletas. Caso esses gases chegassem à superfície terrestre com maior intensidade provocariam queimaduras na pele, que poderiam até causar câncer ou ainda destruir as folhas das árvores. Dessa forma, a camada de ozônio protege a terra dos raios ultravioletas do sol.

A Figura 39 mostra que a matéria-prima, ou seja, o plantio e beneficiamento do algodão são os maiores responsáveis pelas emissões (81%), sendo os gases bromo-trifluoro-metano, halon 1301 (CBrF₃); bromo-cloro-difluoro-metano, halon 1211 (CF₂BrCl) e tetra-cloro-metano, CFC-10 os que mais contribuem para o impacto, como mostra a Figura 40.

Os gases CFC e Halons são tidos como principais causadores de depleção do ozônio. Com a depleção do ozônio, a incidência de raios ultravioletas (UV) aumenta, o que, segundo dados da CETESB (2012), podem vir a acarretar em uma variedade de efeitos biológicos, tais como o aumento do câncer de pele, cataratas e danos às plantas.

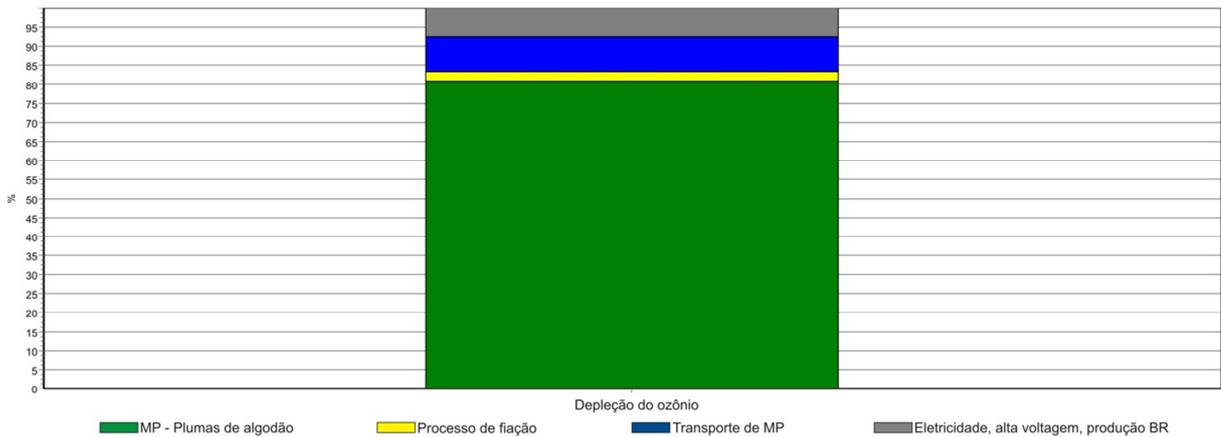


Figura 39 – Gráfico da Categoria Depleção do Ozônio

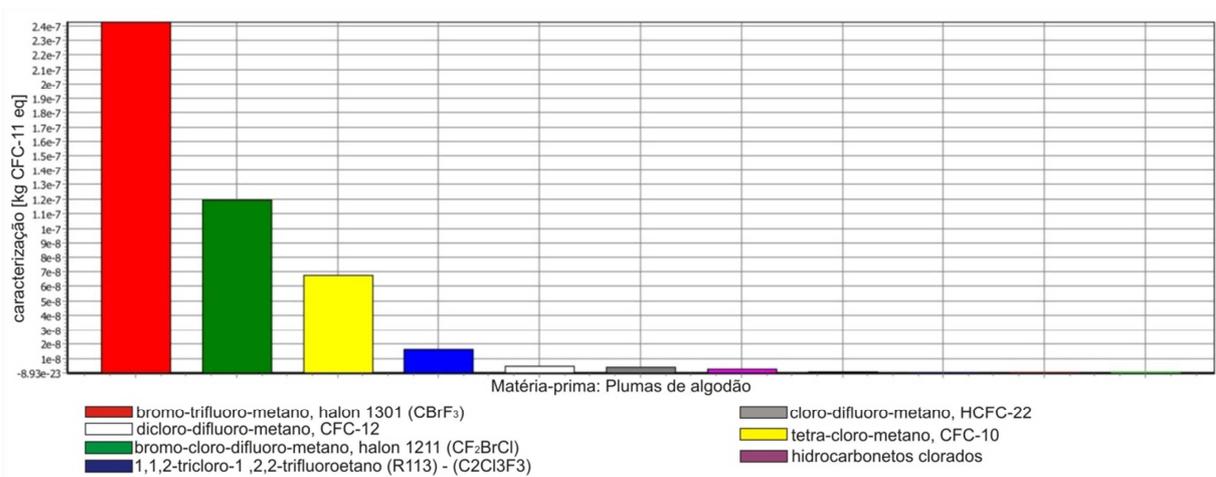


Figura 40 – Emissões para o ar na produção de matéria-prima

Formação de oxidantes fotoquímicos

A formação do ozônio fotoquímico é um tipo de impacto que pode receber contribuições do monóxido de carbono (CO) e de todos os compostos orgânicos voláteis (COV) capazes de reagir com o radical hidróxido k(OH) para formar radicais peróxidos, que na presença de óxidos de nitrogênio (NO_x) e luz ultravioleta (UV) podem induzir a formação de ozônio e outros compostos reativos na troposfera.

O potencial de criação de ozônio fotoquímico é expresso em COV equivalentes. Nesta categoria a produção de matéria-prima gera 80% dos impactos (0,011 kg COV eq.), enquanto que o processo de fiação gera somente 2% desses impactos, seguidos de 12% do transporte e 6% da eletricidade, como mostra a Figura 41.

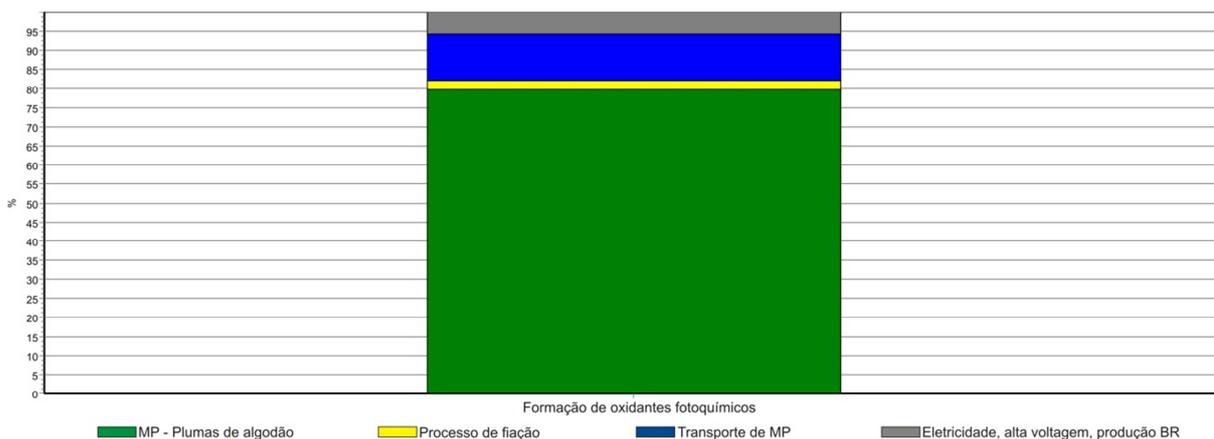


Figura 41 – Gráfico da Categoria Formação de Oxidantes Fotoquímicos

As principais substâncias emitidas nessa categoria são: óxido de nitrogênio (NO), COV e dióxido de enxofre (SO₂). O óxido de nitrogênio na produção de matéria-prima pode ser explicado pelo uso de fertilizantes nitrogenados e pela queima de resíduos de colheita e de culturas agrícolas, que liberam óxidos de nitrogênio (NO_x), metano, óxido nitroso (N₂O) e monóxido de carbono (CO).

Os compostos orgânicos voláteis (COV) são liberados por processos industriais (processo de fiação do algodão) e pela frota veicular (maquinário necessário para o cultivo do algodão), incluem produtos de elevada volatilidade, originando, assim, os solventes clorados, como, por exemplo, o 1,4 – diclorobenzeno.

Em relação ao processo de obtenção de matéria-prima e fiação do algodão, o dióxido de enxofre é emitido por meio da queima de combustíveis que contêm enxofre, como óleo diesel e óleo combustível industrial.

O óxido de nitrogênio (NO) em conjunto com a luz solar se transforma em NO₂, e possui um importante papel na formação de oxidantes fotoquímicos como o ozônio. O dióxido de nitrogênio (NO₂) é uma das espécies mais ativadas fotoquimicamente na atmosfera poluída, sendo ainda um dos precursores do “smog¹⁰” fotoquímico. Os principais agentes na formação do “smog” são os compostos orgânicos voláteis (COV), óxidos de nitrogênio e a luz solar.

¹⁰ A palavra “smog” é a junção das palavras inglesas “smoke” (fumaça) mais “fog” (neblina), cujo processo de formação compreende inúmeros compostos e reações induzidas pela presença de luz solar.

Os gases NO_2 e NO também são bastante importantes nas reações atmosféricas. Genericamente designados como NO_x , alcançam a atmosfera a partir de processos naturais (tal como processos biológicos) e, principalmente, emissões antropogênicas. Os COV e NO_x reagem na atmosfera, principalmente pela radiação solar, formando um conjunto de gases agressivos conhecidos como oxidantes fotoquímicos.

Formação de material particulado

Sob a denominação geral de material particulado (MP) se encontra uma classe de poluentes constituída de poeiras, fumaça e todo tipo de material sólido e líquido que, devido ao seu pequeno tamanho, se mantêm suspensos na atmosfera. Os óxidos de carbono, enxofre e nitrogênio também são considerados poluentes inorgânicos quando presentes em grandes quantidades. Outros gases poluentes são a amônia (NH_3), óxido nitroso (N_2O), ácido sulfídrico (H_2S), ácido clorídrico (HCL) e ácido fluorídrico (HF).

Em relação aos parâmetros de formação de material particulado percebe-se a elevada contribuição da etapa de matéria-prima (93%), seguida do transporte (3%), processo de fiação (2%) e eletricidade (2%). A produção de matéria-prima é responsável por 0,0125 kg MP_{10} eq./ kg de pluma produzido, enquanto que o processo de fiação emite 0,000235 kg MP_{10} eq/ kg de fio de algodão produzido, como mostra a Figura 42.



Figura 42 – Formação de material particulado

Até o ano de 1989, a legislação brasileira preocupava-se apenas com as “partículas totais em suspensão”, ou seja, com todos os tipos e tamanhos de partículas que se

mantêm suspensas no ar (partículas menores que $100 \mu\text{m}^{11}$). No entanto, pesquisas mais recentes mostraram que partículas mais finas, em geral partículas cujo diâmetro era menor que $10 \mu\text{m}$, penetram mais profundamente no aparelho respiratório e são as que apresentam efetivamente mais riscos à saúde humana.

Dessa forma, a legislação brasileira passou, desde 1990, a se preocupar também com estas partículas classificadas como “partículas inaláveis”, fixando os padrões primários e secundários deste poluente por meio da resolução Conama nº 3 de 1990.

A produção de matéria-prima plumas de algodão é responsável pela emissão dos gases de amônia, óxidos de nitrogênio, dióxido de enxofre e material particulado (MP) $< 2,5 \mu\text{m}$. Já o processo de fiação emite dióxido de enxofre, óxido de nitrogênio e material particulado (MP) $< 10 \mu\text{m}$.

Os óxidos de nitrogênio mais encontrados na atmosfera são o óxido nitroso (N_2O), óxido nítrico (NO) e dióxido de nitrogênio (NO_2). Na produção de matéria-prima o óxido nitroso (N_2O) provém de fontes naturais (60%), é encontrado em abundância nos oceanos e o restante em emanações de solos. O monóxido de nitrogênio (NO) e o dióxido de nitrogênio são poluentes provenientes da fábrica de fertilizantes, da queima de resíduos agrícolas e do escape de veículos (maquinários utilizados no cultivo).

Os dióxidos de enxofre emitido de fontes naturais provêm da decomposição de vegetal e animal no solo, e o restante da queima de combustíveis fósseis (diesel) utilizado no maquinário do cultivo e no transporte de matéria-prima. As partículas $< 2,5 \mu\text{m}$ são oriundas da combustão do maquinário, das fibras soltas da maçã do algodão na colheita ou ainda soltas pelo vento e por *sprays* de aspersão de pesticidas.

No processo de fiação o óxido de nitrogênio e o dióxido de enxofre são oriundos do próprio processo industrial, enquanto que o material particulado $< 10 \mu\text{m}$ provém do pó composto por partículas de algodão resultantes do processo de fiação.

¹¹ $1 \mu\text{m}$ equivale a milésima parte do milímetro.

Toxicidade à saúde Humana

A categoria de impacto toxicidade à saúde humana compreende o impacto na saúde por inalação ou ingestão das substâncias tóxicas presentes no ambiente. Seus valores de caracterização estão relacionados a efeitos toxicológicos e impactos associados a uma determinada massa de um elemento químico emitido ao ambiente. Uma vez calculado os HTPs (Human Toxicity Potentials¹²), estes são convertidos e expressos como quilogramas equivalentes de 1,4 diclorobenzeno. De acordo com a Figura 43 percebe-se a elevada contribuição de impactos no cenário da obtenção de matéria-prima, representando 81% do impacto da categoria, enquanto que o processo de fiação representa somente 14%, sendo os restantes oriundos da eletricidade (3%) e do transporte (2%).



Figura 43 – Gráfico da Categoria Toxicidade à Saúde Humana

As substâncias encontradas nessa categoria em quantidades representativas foram: manganês, selênio e arsênico. O manganês é encontrado em fertilizantes e fungicidas, o arsênico é encontrado na queima do carvão e o selênio é encontrado no solo, plantas e fertilizantes.

Em relação à toxicidade à saúde humana, o manganês em doses excessivas pode causar fraqueza, distúrbio do sono, dores musculares, dificuldade na fala, bronquite aguda, asma brônquica, pneumonia, entre outros (ABREU, 1994).

Já o arsênico produz efeitos nos sistemas respiratório, cardiovascular e nervoso. Ocorre irritação com danos nas mucosas nasais, laringe e brônquios. No sistema

¹² Potencial de toxicidade humana, em português.

cardiovascular são observadas lesões vasculares periféricas e alteração no eletrocardiograma (ABREU, 1994).

No caso do selênio, todos seus compostos são potencialmente tóxicos e devem ser manuseados com cuidado. De acordo com Tan (2003), na década de 70, várias intoxicações por selênio e patologias resultantes (selenoses) foram reportadas na América Latina. A selenose afeta cabelos, unhas, dentes, pele e o sistema nervoso.

Acidificação Terrestre

Os poluentes acidificantes possuem uma grande variedade de impactos no solo. Os efeitos se traduzem pela diminuição do pH, do teor de nutriente e pelo aumento do teor de elementos potencialmente tóxicos. As substâncias que mais contribuem para a acidificação são o SO_2 , NO_x e NH_x . O indicador da categoria pode ser expresso em máxima liberação de prótons H^+ .

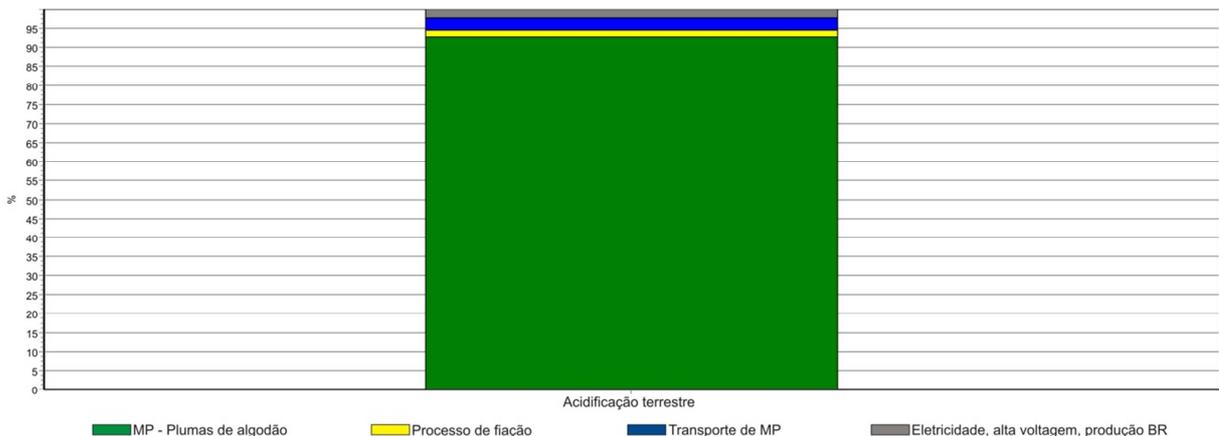


Figura 44 – Gráfico da Categoria Acidificação Terrestre

De acordo com a Figura 44, a matéria-prima contribui com 97% dos impactos, sendo a amônia (NH_3), o dióxido de enxofre (SO_2) e o óxido de nitrogênio as substâncias que mais contribuem para o impacto nessa categoria.

No meio rural adubos minerais para o solo, como sulfato de amônio $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, aceleram a acidificação do solo, pois, ao se dissolverem, reagem com o oxigênio formando grandes quantidades de H^+ .

No meio industrial fábricas lançam para o ar uma variedade de substâncias tóxicas (poluentes químicos), como o dióxido de enxofre (SO_2). Em contato com o ar úmido, este gás forma junto com a água um ácido. Quando respirado, ataca nariz e pulmão.

Na atmosfera, o resultado pode ser chuvas ácidas no entorno da região das indústrias.

Eutrofização de água doce

A eutrofização é o enriquecimento da água em nutrientes, nitrogênio (N) e fósforo (P), que podem causar uma indesejável mudança na composição de espécies nos ecossistemas e uma redução na diversidade ecológica. Nas águas superficiais a mudança na gama de espécies é geralmente evidente pelo rápido crescimento das algas, o que pode levar a um déficit de oxigênio.

Nesta categoria a etapa da matéria-prima é o que mais contribui para o impacto (93%), como mostra a Figura 45. Dentre as substâncias analisadas para esta categoria encontramos o fosfato para a produção de plumas de algodão e em menor quantidade (4%) o fosfato e o fósforo para o processo de fiação.

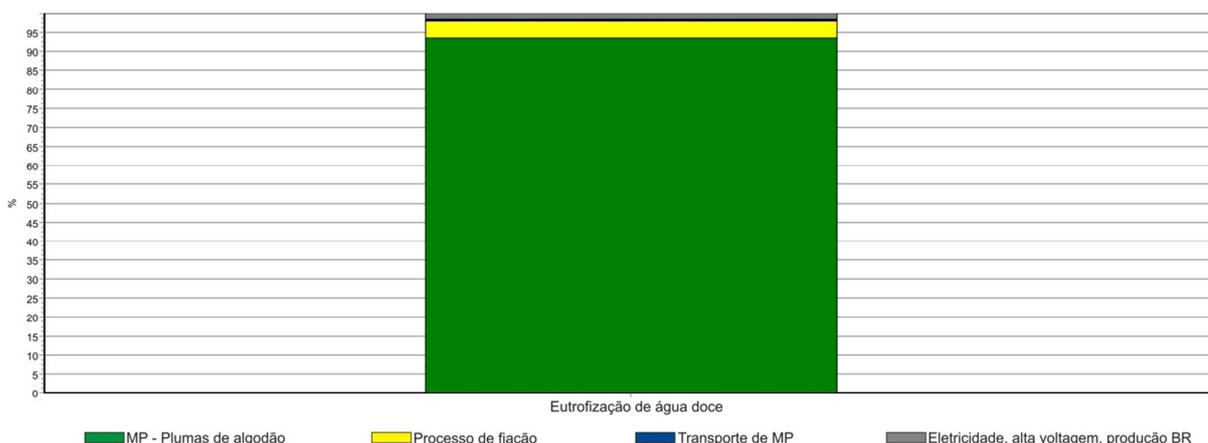


Figura 45 – Gráfico da Categoria Eutrofização de água doce

O impacto causado pelo fosfato, no meio rural, pode ser explicado devido à sua alta concentração em fertilizantes. Estes, quando aplicados em plantações, uma porcentagem da quantidade aplicada chega por meio do ar ou por lixiviação até o corpo receptor.

Ecotoxicidade terrestre e de água doce

A categoria de impacto, Ecotoxicidade, compreende os impactos de substâncias tóxicas nos ecossistemas aquáticos, terrestres e sedimentos. Semelhante à toxicidade humana, a ecotoxicidade terrestre e a ecotoxicidade de água doce possuem o fator de caracterização expressos em 1,4 diclorobenzeno equivalentes.

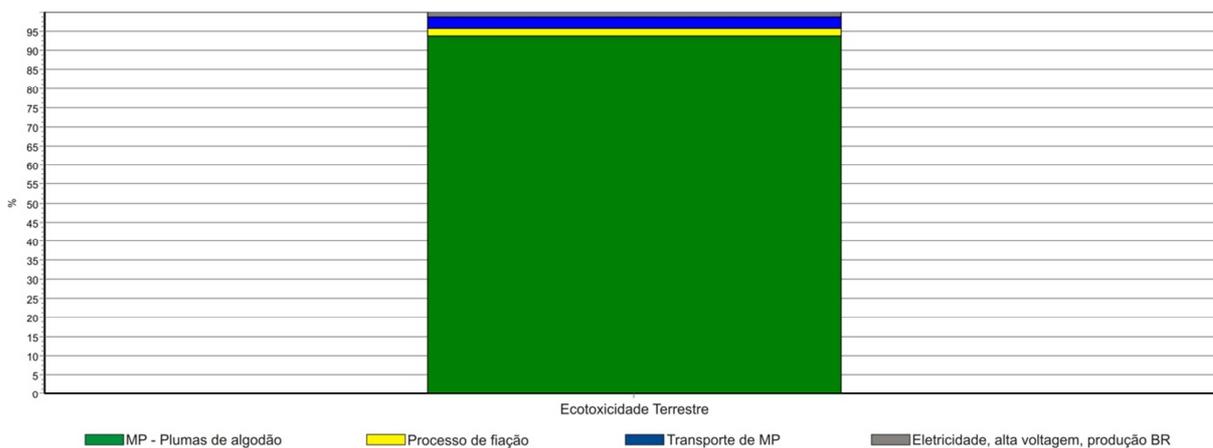


Figura 46 – Gráfico da Categoria Ecotoxicidade Terrestre

Em ambas as categorias a etapa da matéria-prima é quem representa maior impacto, com 94% na categoria de ecotoxicidade terrestre (Figura 46) e 95% na categoria de ecotoxicidade de água doce (Figura 47).



Figura 47 – Gráfico da Categoria Ecotoxicidade de Água Doce

Referente à categoria de ecotoxicidade terrestre na etapa de matéria-prima (plantio e beneficiamento do algodão), as substâncias que mais contribuem para o impacto são: atrazina, cyflutryn, fósforo, cobre, metolachlor, prometryn e vanádio (Figura 48).

A atrazina, nome comum para 2-cloro-4-etilamino-6-isopropilamino-s-triazina, é um herbicida seletivo utilizado no controle de plantas daninhas em diversas culturas, incluindo o algodão. O metolachlor e o prometryn também são usados como herbicidas. Já o Cyflutryn é um derivado sintético usado como pesticida, a exposição excessiva pode causar danos à saúde humana como: dor de cabeça, náuseas, fraqueza muscular, dificuldade respiratória e convulsões.

Dessa forma, o maior impacto na produção de plumas de algodão está no uso de agrotóxicos e pesticidas.

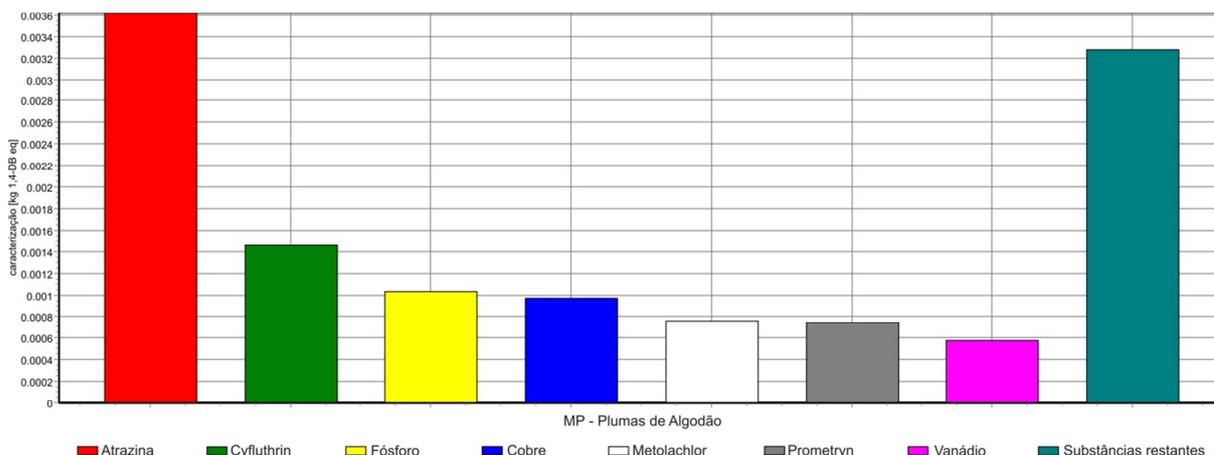


Figura 48 – Especificação por substância da categoria de ecotoxicidade terrestre

Para a categoria de ecotoxicidade de água doce, na etapa de matéria-prima (plântio e descaroçamento do algodão), as substâncias que mais contribuem para o impacto são: o fósforo, níquel, atrazina e o manganês (Figura 49).

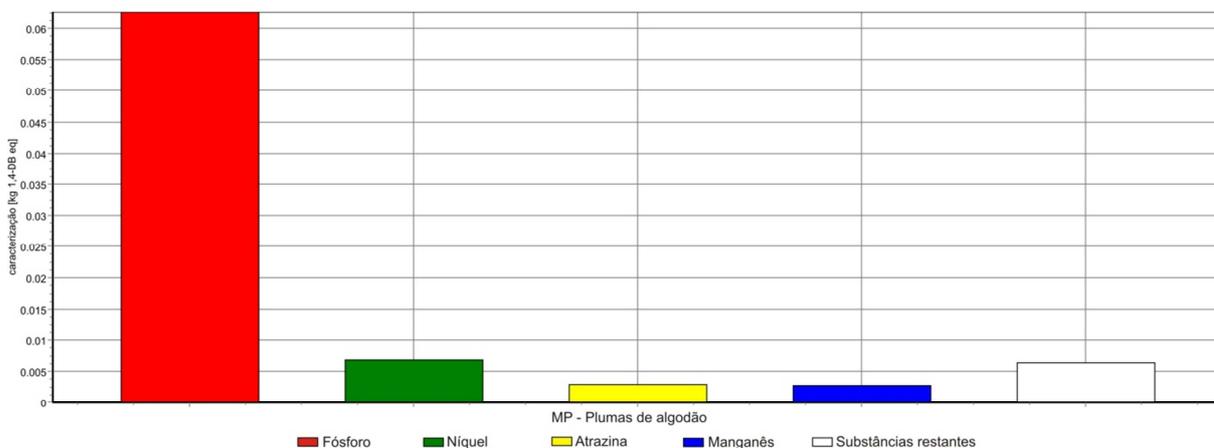


Figura 49 - Especificação por substância da categoria ecotoxicidade de água doce

Depleção fóssil

Na categoria depleção fóssil (Figura 50), a etapa que confere maior impacto é a de obtenção de matéria-prima: cultivo e beneficiamento do algodão, representando 77% dos impactos da categoria. Para a categoria depleção fóssil as maiores contribuições encontram-se associadas ao uso de fertilizantes, operações agrícolas e transporte em caminhão.

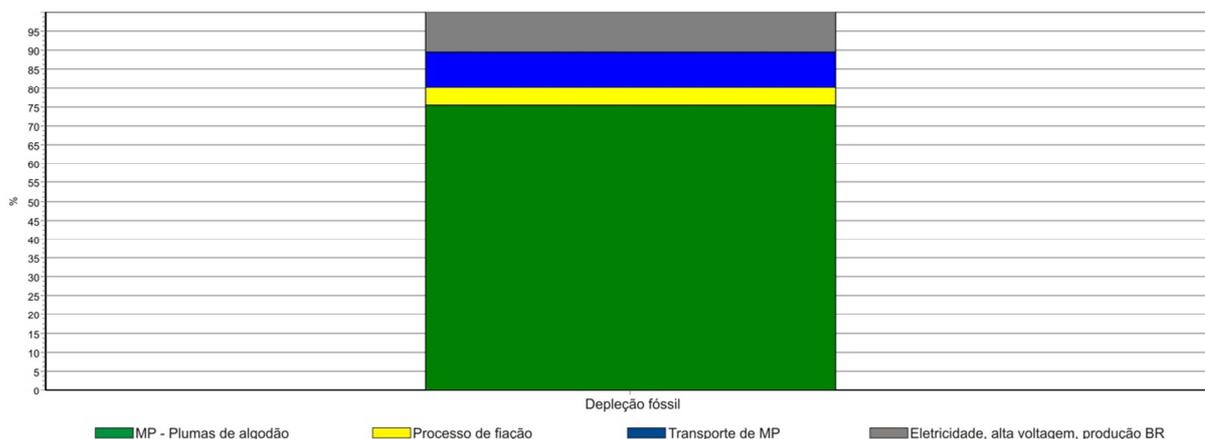


Figura 50 – Gráfico da Categoria Depleção Fóssil

7.5.2 Método Demanda de energia acumulada (CED)

Indicador de impacto de triagem e desempenho energético, o objetivo desse método é investigar o uso de energia em todo o ciclo de vida do estudo. A seguir, serão interpretados os aspectos ambientais para o método CED (Figura 37), com a apresentação dos gráficos para as categorias: Recurso energético não renovável, fóssil e recurso energético renovável, água.

Recurso Energético Não Renovável – fóssil

As fontes de energia não renováveis são aquelas que se encontram na natureza em quantidades limitadas e se extinguem com a sua utilização. Consideram-se fontes de energia não renováveis os combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás natural), além do urânio, matéria-prima necessária na fusão nuclear.

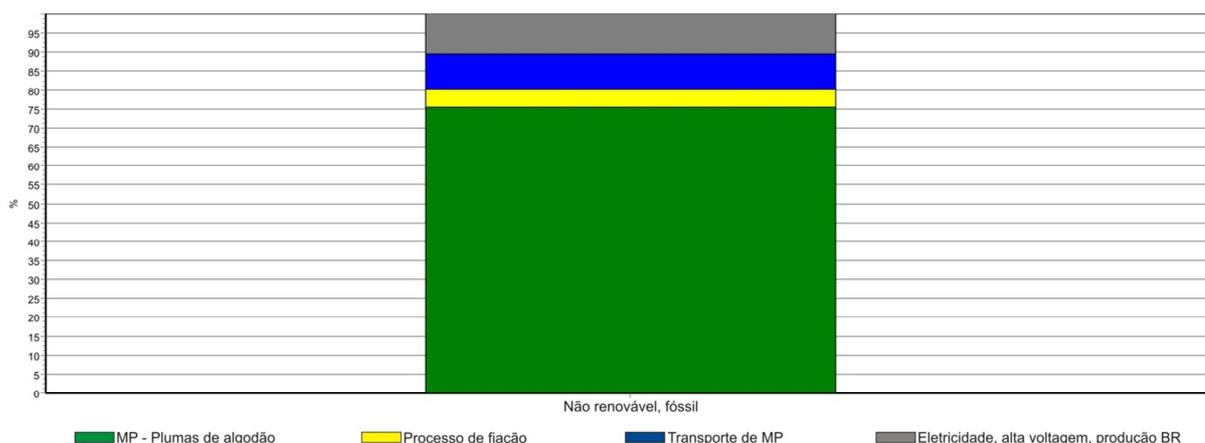


Figura 51 – Gráfico da Categoria de Energia Não Renovável – Fóssil

Nesta etapa encontra-se um montante de 26,2 MJ para a etapa da obtenção de matéria-prima, como mostra a Figura 51. Tal impacto pode ser explicado devido ao uso do óleo diesel, combustível derivado do petróleo, nas operações agrícolas.

Recurso Energético Renovável – água

A água é um recurso natural de grande valor econômico, ambiental e social, fundamental à subsistência e bem-estar do homem e dos ecossistemas da terra. Atualmente, a má gestão e as alterações climáticas são as que mais provocam o aquecimento do planeta e acabam por contribuir para a menor disponibilidade dos recursos hídricos.

No caso desta categoria, a eletricidade utilizada no processo é o que mais contribui para o impacto ambiental, com 11,3 MJ (Figura 52).

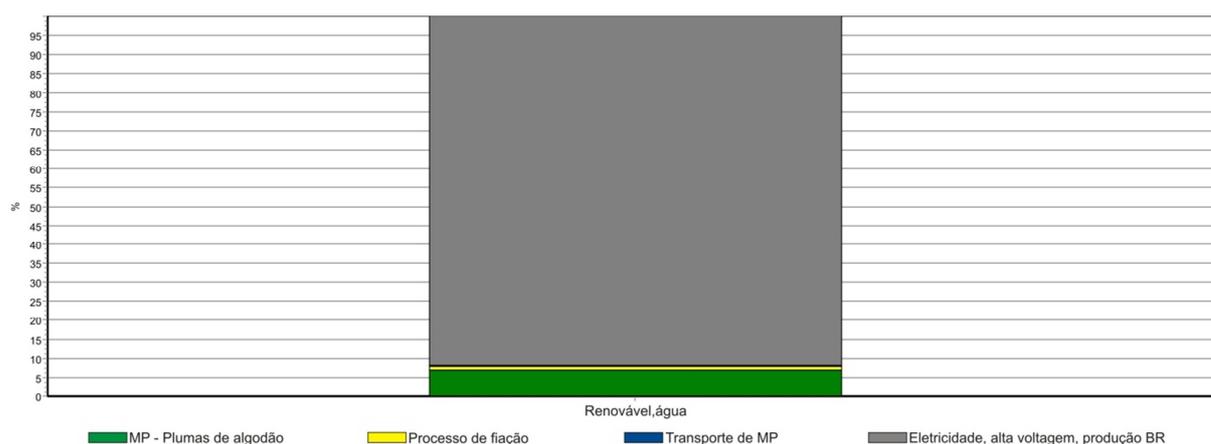


Figura 52 – Gráfico da Categoria de Energia Renovável – Água

Apesar de ter sido dividida para uma melhor análise, os impactos ambientais desta categoria correspondem em 100% à eletricidade, uma vez que este recurso também se encontra presente nos demais processos. Analisando as substâncias que impactam esta categoria, encontramos somente “potencial de energia, em reservatório de hidrelétrica”, uma vez que a maior parte da energia elétrica do país tem essa origem.

A Figura 53 mostra os processos analisados nesta ACV e a linha de impacto correspondente a cada etapa, na qual fica claro de se observar o maior impacto

sendo gerado pela eletricidade, uma vez que a espessura da linha que liga os processos indica o percentual de impacto.

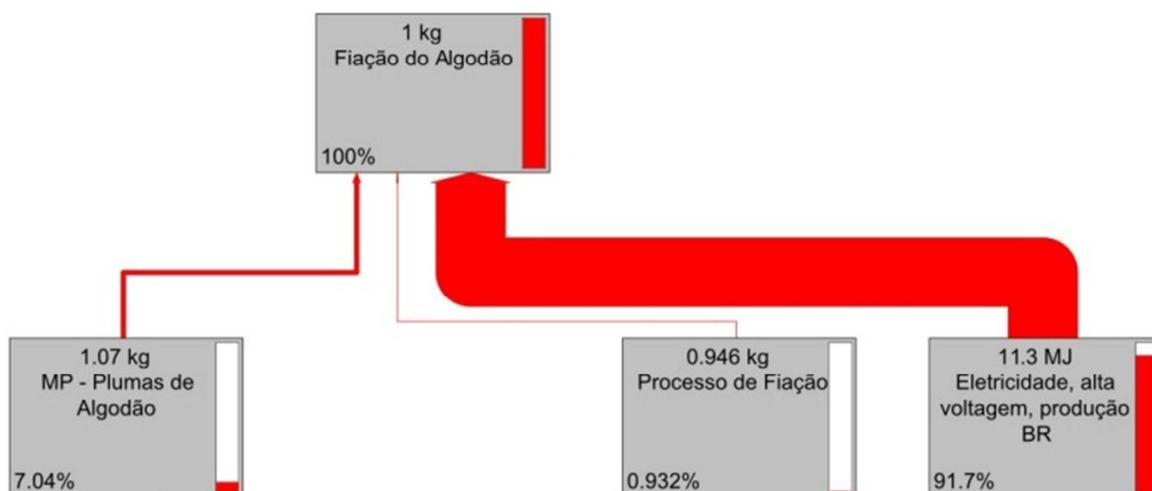


Figura 53 – Percentual de impacto por processo

7.5.3 Conclusões da ACV

Como comparações aos resultados apresentados neste estudo foram avaliados os seguintes parâmetros de danos: saúde humana, qualidade do ecossistema, recursos naturais e combustíveis fósseis.

Dentre todas as categorias analisadas, o processo de obtenção da matéria-prima plumras de algodão, ou seja, o cultivo e o beneficiamento do algodão até a obtenção da pluma, é o que mais contribui para os impactos ambientais potenciais. Em destaque, com maior percentagem, encontram-se as categorias: formação de material particulado, acidificação terrestre, eutrofização de água doce, ecotoxicidade terrestre e ecotoxicidade de água doce.

As principais substâncias emitidas por essas categorias são: amônia (NH₃), óxidos de nitrogênio (N₂O, NO, NO₂), dióxido de enxofre (SO₂), fosfato (PO₄), fósforo (P), manganês (Mn), cobre (Cu), partículas < 2,5 µm e substâncias ligadas a agrotóxicos (herbicidas e pesticidas) e fertilizantes, como: atrazine, cyfluthryn, prometryn, metolachlor.

Os agrotóxicos e fertilizantes, bem como suas aplicações excessivas, são responsáveis por diversos problemas ambientais associados ao setor agrícola. Estes

apresentam grandes impactos associados principalmente nas categorias de gases de efeito estufa, mudança climática, acidificação, eutrofização e consumo de combustíveis fósseis e recursos energéticos. Os grandes impactos associados ao uso dos agrotóxicos e fertilizantes devem-se às emissões de NO_2 e lixiviação de íons de nitrato (NO_3) e fosfato (PO_4) relacionados com o ciclo do nitrogênio (N) no solo, assim como à volatilização da amônia (NH_3) quando ocorre à aplicação no solo, mas principalmente devido à contabilização por parte do *software* Simapro das emissões de dióxido de carbono (CO_2), amônia (NH_3) e óxidos de nitrogênio (NO_x) relativas à fase de produção dos fertilizantes sintéticos. Tais substâncias podem causar danos à vegetação e contaminação do solo.

No caso da colheita, os impactos ambientais estão associados à depleção do ozônio e formação de oxidantes fotoquímicos, devido em grande parte ao consumo de combustíveis fósseis (óleo diesel), que é responsável pela emissão de dióxido de carbono (CO_2), óxidos de nitrogênio (NO_x) e compostos orgânicos voláteis (COVs).

O alcance geográfico de cada categoria ambiental pode ser dividido em: impactos locais, impactos regionais e impactos globais.

Em relação aos impactos locais reúnem-se as categorias: toxicidade à saúde humana, ecotoxicidade terrestre, ecotoxicidade de água doce e eutrofização de água doce, cuja etapa de maior contribuição é a obtenção da matéria-prima e seus impactos já foram anteriormente discutidos.

Referentes aos impactos regionais estão as categorias de formação de oxidantes fotoquímicos e acidificação terrestre. As substâncias emitidas por essas categorias são: óxidos de nitrogênio (NO , NO_2 , N_2O), compostos orgânicos voláteis (COVs), dióxido de enxofre (SO_2) e amônia (NH_3).

Os impactos globais englobam as categorias: mudança climática e depleção do ozônio. Para complementar as duas categorias foi calculado o Potencial de Aquecimento Global (*GWP – Global Warming Potential*) do sistema para um período de 100 anos, no qual se verificou a grande contribuição do dióxido de carbono (CO_2) com 2,5 kg CO_2 equivalente e o monóxido de nitrogênio (NO) com 2,18 kg CO_2 equivalente, como mostra a Figura 54.

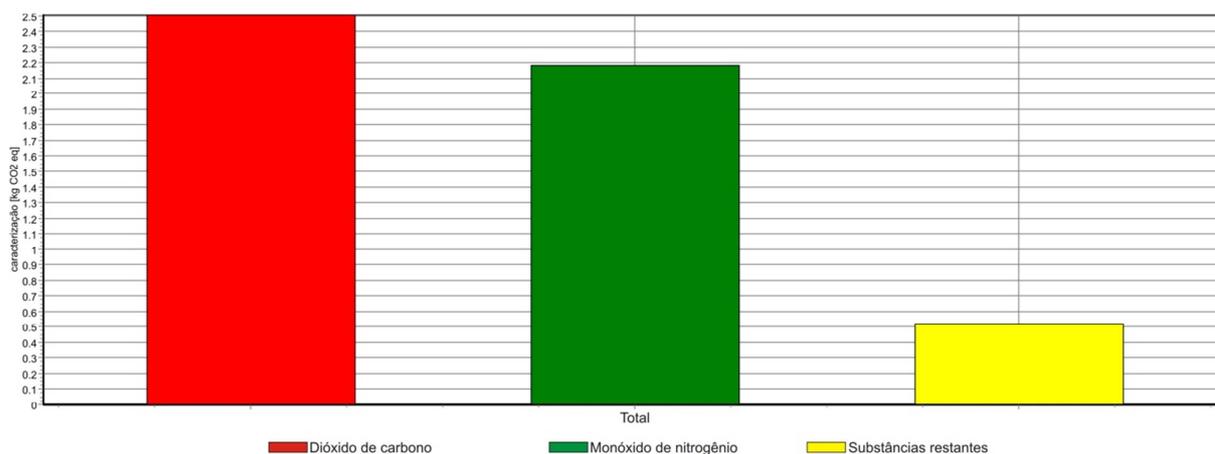


Figura 54 – Potencial de Aquecimento Global (GWP) para 100 anos

As emissões de carbono oriundas da queima de combustíveis fósseis desequilibram o ciclo do carbono global. Quantidades excessivas de CO₂ acumuladas na atmosfera alteram o processo que determina o clima do planeta e, portanto, afetam muitos ecossistemas globais.

O monóxido de nitrogênio, bem como o dióxido de nitrogênio são constituintes normais da atmosfera provenientes de fontes naturais e aparecem nas categorias: formação de oxidantes fotoquímicos, acidificação terrestre e formação de material particulado. Os óxidos de nitrogênio são poluentes primários e a maior fonte antropogênica é a combustão. Quanto aos danos à saúde humana, podem ocasionar o aumento da sensibilidade à asma e à bronquite e reduzir a resistência às infecções respiratórias. Em relação ao ambiente podem levar à formação de chuva ácida e danos à vegetação.

Os óxidos de nitrogênio em conjunto com os compostos orgânicos voláteis (COVs) produzem o ozônio (O₃), por meio da radiação solar. Esse gás pode causar irritação nos olhos e vias respiratórias e diminuição da capacidade pulmonar, e aumentar os danos à vegetação natural e plantações agrícolas.

O dióxido de enxofre (SO₂) é um gás emitido também pelas categorias formação de oxidantes fotoquímicos, acidificação terrestre e formação de material particulado. Na saúde humana, por se tratar de um gás hidrossolúvel, é retido nas vias aéreas superiores, podendo causar rinite, laringite e faringite. Assim como os óxidos de nitrogênio, esse gás também pode levar à chuva ácida, causar corrosão e danos à vegetação.

Já o material particulado (MP), que possui uma série de substâncias químicas em forma de partículas, possui sua maior fonte nas indústrias; no caso da fiação, as fibras soltas durante o processo são responsáveis por 13,3 µg de aerossóis. Essas substâncias estão presentes na categoria de formação de material particulado, onde, para o processo de obtenção de matéria-prima, as partículas possuem diâmetro menor de 2,5 micrômetros, e para o processo de fiação, partículas menores que 10 micrômetros.

Do ponto de vista toxicológico o MP contribui para o aumento da incidência de doenças respiratórias. Já, do ponto de vista ambiental, contribui para danos à vegetação e contaminação do solo.

7.5.4 Efeitos dos impactos ambientais no espaço urbano-industrial

Embora a maior parte dos impactos se concentre no ambiente agrícola, muitos de seus efeitos podem impactar também no ambiente urbano, assim como os impactos causados pela fiação (situada em ambiente urbano), embora em menores proporções.

Como dito anteriormente, algumas categorias possuem impactos ambientais regionais e até globais, ou seja, não impactam somente no seu entorno.

A questão ambiental tornou-se uma preocupação mundial, onde questões como mudança climática e poluição do ar se destacam quanto à sua importância. O impacto ambiental das atividades industriais urbanas possui intensidade variada, podendo ir de pontual (no caso de uma fábrica específica poluidora) a difuso (no caso dos poluentes emitidos pela frota de veículos da fábrica). Essas atividades atingem, de forma direta e indireta, grandes parcelas da população.

Como consequência, surgiram dois grandes problemas para o futuro imediato: o de que os recursos naturais são limitados e podem se esgotar, e o de que a exploração e a industrialização tão intensas como as atuais colocam em perigo a sobrevivência do ser humano no planeta, em razão da contaminação e da alteração do meio físico.

De acordo com a análise do tópico anterior, verifica-se a emissão de diversos tipos de gases tóxicos. Esses gases são respirados pelos habitantes urbanos, o que reflete no aumento das enfermidades respiratórias e na mortalidade infantil.

Acredita-se que os gases emitidos na atmosfera pelas indústrias e atividades agrícolas são os responsáveis por parte das alterações do clima do planeta. As “ilhas de calor” já são um fenômeno cada vez mais comum nos centros urbanos. A poluição do ar também é responsável pela inversão térmica, caracterizada pela inversão da variação normal da temperatura com a altitude.

Outro impacto é a chuva ácida, que pode vir a liberar metais tóxicos que estavam no solo. Esses metais podem alcançar rios e serem utilizados pelo homem causando problemas de saúde, além de devastar vegetações.

O efeito estufa, impacto ambiental que mais assusta atualmente, é resultado de um desequilíbrio na composição atmosférica, provocado pela crescente elevação da concentração de certos gases que possuem a capacidade de absorver calor, como é o caso do metano, dos CFCs e principalmente do dióxido de carbono (CO_2). A alteração global do clima, ou seja, o aumento da concentração dos gases de efeito estufa e partículas de poluentes, é responsável pelo fenômeno do aquecimento global, que é o aumento da temperatura do planeta devido à maior retenção da radiação infravermelha térmica na atmosfera.

8 CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho baseou-se na construção do inventário de ciclo de vida da cadeia têxtil do algodão. No entanto, foram adquiridas muitas outras experiências acerca da metodologia da avaliação do ciclo de vida.

Apesar da utilização de dados primários somente no inventário da fiação do algodão, pois foram usados dados secundários para a realização do inventário do plantio e descaroçamento do algodão, acredita-se que o trabalho aqui desenvolvido alcançou uma primeira estimativa condizente, não negligenciando as limitações do estudo. Limitações principalmente associadas à base de dados, quase sempre relativas a dados internacionais, adaptados ao máximo possível às condições brasileiras.

As diversas tabelas, bem como os valores de impactos ambientais exibidos no decorrer deste trabalho permitem que o leitor verifique e analise o raciocínio desenvolvido nas diversas etapas, desde o plantio do algodão até a etapa de fiação do mesmo.

No meio rural, o impacto sobre as entradas é facilmente identificado em relação aos danos à qualidade do ecossistema. Todos os materiais que entram no sistema estão relacionados a recursos. O maior impacto na etapa do plantio do algodão é o uso de agrotóxicos e fertilizantes.

Embora no estudo se tenha verificado maior potencial de impacto no meio rural em todas as categorias, em menor proporção, no meio urbano-industrial, destacam-se as categorias: toxicidade à saúde humana (14%), mudança climática (3%) e depleção do ozônio (2%), por se tratarem de impactos com alcance geográfico global.

Emissões de dióxido de carbono (CO_2) e óxidos de nitrogênio (NO_x) apresentaram as maiores contribuições de impactos com alcance geográfico regional e global.

Os resíduos sólidos, provenientes do processo de fiação, não influenciaram significativamente em nenhum resultado, uma vez que a maior parte deles é vendida como coproduto para diversos fins.

Quanto ao uso dos recursos energéticos, percebe-se uma maior contribuição da etapa do plantio do algodão (75,4%) em relação aos recursos não renováveis fósseis, e uma maior contribuição da energia elétrica (91,7%) em relação aos recursos renováveis – água.

Os dados finais disponibilizados têm como finalidade apresentar uma estimativa dos aspectos ambientais decorrentes da cadeia têxtil do algodão até a etapa de fiação.

Nesse panorama, pode-se concluir que os objetivos estabelecidos neste trabalho foram atendidos, inclusive no que se refere às exigências do propósito e escopo do estudo da ACV.

A metodologia da ACV se mostrou bastante satisfatória, apesar de se tratar de uma metodologia nova, e que ainda está sendo desenvolvida, além da enorme carência de bancos de dados brasileiros.

A utilização do *software* Simapro auxiliando na fase de avaliação de impacto foi essencial para a finalização do estudo. A base de dados complexa proporcionou a viabilidade de escolha do indicador para avaliação de impacto, no entanto, como dito anteriormente, a falta de dados brasileiros inseridos no *software* ocasiona uma incerteza quanto ao resultado.

Partindo para o ponto de vista acadêmico, este trabalho colabora também para o desenvolvimento de outras pesquisas relacionadas à aplicação da metodologia da ACV.

Como recomendações a estudos futuros, faz-se necessária uma análise ambiental dos processos posteriores pertinentes à cadeia têxtil do algodão (beneficiamento, tecelagem, malharia e confecção).

9 REFERÊNCIAS

ABIT – **Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção**. Exportações, 2008. Disponível em: <<http://www.abit.org.br>>. Acesso em: 3 jul. 2011.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 9.000**. Sistemas de gestão da qualidade – Fundamentos e vocabulário. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

_____. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14.000**. Gestão Ambiental. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.

_____. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14.001**. Sistema de Gestão Ambiental – Especificações e diretrizes para uso. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

_____. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14.040**. Gestão Ambiental – Análise do Ciclo de Vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

_____. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14.041**. Gestão Ambiental – Análise do Ciclo de Vida – Definição de objetivo e análise do inventário e escopo. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

_____. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14.042**. Gestão Ambiental – Análise do Ciclo de Vida – Análise de impactos associados ao ciclo de vida. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

_____. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14.043**. Gestão Ambiental – Análise do Ciclo de Vida – Interpretação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

_____. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14.040**. Gestão Ambiental – Análise do Ciclo de Vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

_____. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14.044**. Gestão Ambiental – Análise do Ciclo de Vida – Requisitos e diretrizes. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ABREU, I. S. **Impactos Sociais e ambientais na agricultura**. Brasília: Embrapa, 1994.

ABREU, M.C.S.; RADOS, G.J.V.; FIGUEIREDO JR., H.S. As pressões ambientais da estrutura da indústria. **RAE Eletrônica**, São Paulo, v.3, n.2, art. 17, jul.-dez. 2004. Disponível em: <<http://www.rae.com.br/artigos/1832.pdf>>. Acesso em: 04 jul. 2011.

ACV BRASIL – Sustentabilidade: **Consultoria em Avaliação do Ciclo de Vida**. Disponível em: <<http://www.acvbrasil.com.br/>>. Acesso em: 23 jun. 2011.

AMORIM, G. Algodão: Vitória brasileira na OMC. **Análise Conjuntural**, v.31, n. 9-10, set/out, 2009.

ARAÚJO, M. **Tecnologia do vestuário**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1996.

BANCO MUNDIAL. Relatório de Síntese Técnica. **Uso da terra, mudanças no uso da terra e florestas**. Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento/ Banco Mundial, 2010. Disponível em: <www.esmap.org>. Acesso em: 04 abr. 2012.

BANURI, T. **Pakistan: Environmental Impact of cotton production and trade**. International Institute for Sustainable Development– IISD, Canada, 1998. Disponível em: <<http://iisd.ca/tkn>>. Acesso em: 07 jan. 2012.

BARRETO, R. J. **Incorporação da avaliação do ciclo de vida ao projeto do produto**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais. Curitiba: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2007.

BELTRÃO, N. E. M. (Org.). **O agronegócio do algodão no Brasil**. Embrapa – CTT/EMBRAPA-CNPA. v.2, 1999.

BENGTSSON, M.; STEEN, B. Weighting in LCA – approaches and applications. **Environmental Progress**, v. 19, issue2, p. 101-109, 2000. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ep.670190208/pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2011.

BERNARDO, S. Impacto Ambiental da Irrigação no Brasil. **Revista Engenharia na Agricultura**, série Irrigação e Drenagem, Viçosa, v.1, n.1, 7p, 1992.

CAMPOS, A. C. **Arranjos produtivos no Estado do Paraná: o caso do Município de Cianorte**. Tese (Doutorado em Economia) – Programa de Pós Graduação em Desenvolvimento Econômico. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2004.

CARVALHO, P. G. C. A. **Aplicação do programa Simapro na avaliação do impacto ambiental causado na produção e exploração Offshore de petróleo**. (Projeto Final de Curso) – Engenharia Química. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2008.

CETESB (São Paulo). **Guia Técnico Ambiental da Indústria Têxtil – Série P+L**. Elaboração Elza Y. Onishi Bastian, José Luiz Silva Rocco; colaboração Eduardo San Martin [et. al.]. São Paulo: CETESB: SINDITÊXTIL, 2009. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Tecnologia/producao_limpa/documentos/textil.pdf> Acesso em: 05 Fev. 2010.

CHAMBINO, Tereza; CORREIA, Anabela. **Prevenção de Resíduos na Indústria Têxtil**. In: I Congresso Lusófono sobre Ambiente e Energia, 2009, Lisboa. Anais... Lisboa, 2009. Disponível em: <<http://repositorio.ineg.pt/handle/10400.9/587>>. Acesso em: 30 jun. 2010.

CHEHEBE, J. R. B. **Análise do Ciclo de Vida de Produtos: Ferramenta Gerencial da ISO 14000**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

CHERIAF, M.; ROCHA, J. C.; ANGLLUSKI, C. **Valorização do lodo da Indústria Têxtil como novo material de Construção Civil**. In: Seminário Nacional sobre Reuso/Reciclagem de Resíduos Sólidos Industriais, 2000, São Paulo. Anais... São Paulo: CETESB, 2000.

DIAS, M. C. Modernização e produtividade do trabalho nos principais segmentos da indústria têxtil brasileira. **RACRE - Revista de Administração**, v. 7, n.11, pp. 60-68, São Paulo, 2007.

EMBRAPA ALGODÃO – Sistemas de produção. **Revista Eletrônica**, ano 2, jan. 2003a. Disponível em: <cnptia.embrapa.br>. Acesso em: 03 jan. 2012.

EMBRAPA ALGODÃO – Cultura do algodão no Cerrado. **Revista Eletrônica**, ano 2, jan. 2003b. Disponível em: <cnptia.embrapa.br>. Acesso em: 03 jan. 2012.

EPA - U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Best management practices for pollution prevention in the textile industry**. Ohio: EPA, 1997. Disponível em: <<http://www.p2pays.org/ref%5C02/01099/0109900.pdf>> Acesso em: 27 mai. 2010.

FERRÃO, P. C. **Introdução à gestão ambiental: Avaliação do ciclo de vida de produtos**. Coleção Ensino da Ciência e da Tecnologia. Lisboa: IST Press, 1998.

FERREIRA, J. V. R. **Análise do Ciclo de Vida dos Produtos**. Instituto Politécnico de Viseu: 2004. Disponível em: <<http://www.estv.ipv.pt/paginaspeessoais/vida.pdf>>. Acesso em: 23 out. 2011.

FIEPR. **Federação das Indústrias do Estado do Paraná**. 2010. Disponível em: <<http://www.fiepr.org.br/fiepr>> Acesso em: 5 jan. 2011.

FIEPR. **Indústria Têxtil no Paraná**. Curitiba, 2008. Disponível em: <<http://www.fiepr.org.br/fiepr/analise/panorama/t%C3%AAxtil.pdf>> Acesso em: 5 Jan. 2011.

FIGUEIREDO, F. D. F. **Biodiesel de Girassol ou Microalgas em Portugal: Uma avaliação comparativa de ciclo de vida**. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Faculdade de Ciências e Tecnologia. Coimbra: Universidade de Coimbra – FCTUC, 2011. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10316/20149>>. Acesso em 4 mar. 2012.

FIKSEL, J. **Desihn for Environment: creating eco-efficient products and processes**. New York: Mc Graw-Hill, 1996.

GOULARTE FILHO, A.; JENOVEVA NETO, R. **A Indústria do Vestuário: Economia, Estética e Tecnologia**. Florianópolis: Editora Letras, 1997.

FUKUROZAKI, S. H. **Avaliação do Ciclo de Vida de Potenciais Rotas de Produção de Hidrogênio: Estudo dos Sistemas de Gaseificação da Biomassa e de Energia Solar Fotovoltaica**. Tese (Doutorado em Ciências) – Programa de Pós-graduação em Tecnologia Nuclear – Materiais. São Paulo: Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN, 2011.

GEREFFI, G.; MEMEDOVIC, O. **The global apparel value chain: what prospects for upgrading by developing countries**. Viena: Grennwood, 2003.

GIANNETTI, B. F.; ALMEIDA, C. M. V. B. **Ecologia Industrial: Conceitos, Ferramentas e Aplicações**. São Paulo: EdgardBlücher, 2006.

GOEDKOOOP, M.; HEIJUNGS, R.; HUIJBRETS, M.; SCHRYVER, A. D.; STRUIJS, J; ZELM, R. V. **Recipe 2008 – A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the Midpoint and the endpoint level**. Firstedition. 2009.

GOEDKOOOP, M.; SPRIENSMA, R. *The Eco-indicator 99 – A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment*. Amersfoort: Pré Consultants, 2000.

GUERCIO, M. J. **Variação de impactos ambientais decorrentes da implantação da Norma ISO 14001: Um estudo multi casos em indústrias têxteis de Santa Catarina**. Dissertação (Mestrado em Administração) – Programa de Pós-graduação em Administração. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.

HISCHIER, R.; *et. al.* **Implementation of life cycle impact assessment methods**. Ecoinvent - Dübendorf, v.2.1. n.3, 2009.

HOOF, B. V. **El desarrollo de eco-indicadores para la industria colombiana basada en el concepto de ciclo de vida**. Universidade de Los Andes. Santa Fé de Bogotá. 2000.

IMEA – Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária. **Análise do Algodão – Boletim Semanal**, n.108, nov. 2011. Disponível em: <http://www.imea.com.br/upload/publicacoes/arquivos/2012_01_27_BSAlgodao.pdf>. Acesso em: 28 dez. 2011.

INETI - INSTITUTO NACIONAL DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA INDUSTRIAL. **Guia Técnico: Sector Têxtil**. Lisboa, Portugal, 2000. Disponível em: <http://netresiduos.trace.pt/resources/docs/guias_sectoriais/textil/textil_parte1.pdf> Acesso em: 20 out. 2010.

ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **NBR ISO/TR 14.047**. Environmental Management – Life Cycle Impact Assessment – Examples of application of ISO 14.042. Genebra: ISO, 2003.

JENSEN, A. A.; HOFFMAN, L.; MOLLER, B. T.; SCHMIDT, A. **Life Cycle Assessment (LCA) - A guide to approaches, experiences and information sources**. 1997. Disponível em: <<http://themes.eea.eu.in/index.php>>. Acesso em 03 mar 2011.

LANGE, C. R.; SCHENINI, P.C. **Gestão Ambiental: Estudo de caso em uma Indústria Têxtil de Blumenau – SC**. In: Encontro Nacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente - ENGEMA, n. 9, 2007, Curitiba. Anais... Curitiba, 2007. Disponível em: <<http://engema.up.edu.br/arquivos/engema/pdf/PAP0076.pdf>> Acesso em: 15 Jan. 2010.

LIMA, A. M. F.; CALDEIRA-PIRES, A.; KIPERSTOK, A. **Evolução dos trabalhos de Avaliação do Ciclo de Vida nas Instituições Acadêmicas Brasileiras**. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL CICLO DE VIDA – CILCA, 2007, São Paulo. Anais... São Paulo, 2007.

LIMA, A. M. F.; KIPERSTOK, A. **Avaliação do Ciclo de Vida: Panorama mundial e perspectivas brasileiras**. In: I SIMPÓSIO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL DO CENTRO-OESTE, 2006, Brasília. Anais... Brasília, 2006. Disponível em:

<http://www.teclim.ufba.br/site/material_online/publicacoes/pub_art28.pdf>. Acesso em: 03 fev. 2011.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Cadeia Produtiva do Algodão**. Agronegócios, v.4. Brasília: IICA: MAPA/SPA, 2007.

MASSUDA, E. M. Produção e consumo de algodão e as indústrias de fiação de algodão no Paraná. **Acta Scientiarum Health Science**, Maringá, v. 27, n. 1, p. 61-68, 2005.

MATA, T. M.; COSTA, C. A. V. Norma ISO 14040: Metodologia de Análise de Ciclo de Vida. **Cadernos de Ambiente ANP**. Porto - Portugal, 1997. p. 42-44.

MICHELON, E. **Cadeia Produtiva e Desenvolvimento Regional: Uma análise a partir do setor têxtil do algodão no Nordeste do Paraná**. Maringá: Clichetec, 1999.

NOBRE, A. C. O.; GONÇALVES, F. P. C.; MOURA, S. L. L. F.; CARNEIRO, C. M. B. **Os impactos ambientais na indústria têxtil e sua evidência contábil**. In: II Seminário de Responsabilidade Social e Ambiental, 2002, Aquiraz – CE. Anais... Aquiraz, 2002.

PAVANELI TÊXTIL. **Fiação**. Disponível em: <<http://www.pavanellitextil.com.br/index.php>>. Acesso em: 13 abr. 2010.

PASSUELLO, A. C. B.; CYBIS, L. F. **A influência dos métodos de avaliação de impacto de ciclo de vida na comparação de embalagens para frutas: estudo de caso**. In: Seminário sobre Tecnologias Limpas, 2, 2007, Porto Alegre. Anais: trabalhos técnicos. Porto Alegre: 2007.

PEGORARO, L. A. **Desenvolvimento de fatores de uma caracterização para toxicidade humana em avaliação do impacto do ciclo de vida no Brasil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais. Curitiba: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR, 2008.

PEREIRA, W. S.; FREIRE, R. S. Ferro Zero: Uma nova abordagem para o tratamento de águas contaminadas com compostos orgânicos poluentes. **Revista Química Nova**, v. 28, n. 1, p. 130-136. 2005.

PEZZOLO, D. B. **Tecidos – História, tramas, tipos e usos**. São Paulo: SENAC, 2007.

PORTO, F. O alvorecer de um Pólo Têxtil. **RevistaTextília**, São Paulo: Editora Brasil Têxtil, n.1, p.8-17, 1991.

PRÉ CONSULTANTS. **Simapro 7 – versão 7.3**. Pre consultants Amersfoort, Netherlands, 2009.

PRÉ CONSULTANTS. **Simapro Database Manual – Methods Library**. 2010a.

PRÉ CONSULTANTS. **Introduction to LCA with Simapro 7**.2010b.

REVISTA TEXTÍLIA. **História da Indústria Têxtil no Brasil**. v.1, n. 59, pp.26, São Paulo, 2006.

SALLABERRY, R. R. **Emprego da Avaliação do Ciclo de Vida para levantamento dos desempenhos ambientais do biodiesel de girassol e do óleo diesel.** Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009.

SALLES, A. C. N. **Emissões de gases do Efeito Estufa dos dormentes de ferrovia de madeira natural e de madeira plástica no Brasil e na Alemanha com base nos seus ciclos de vida.** Tese (Doutorado em Planejamento Energético). Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009.

SANTISTA TÊXTIL. **Guia Têxtil online.** Disponível em: <http://www.santistatextil.com.br/6318/institucional/destaques/guia_textil_on_line.html> Acesso em: 18 dez. 2010.

SANTOS, M. A. **Inventário de emissões de gases do efeito estufa derivados de hidrelétricas.** Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético) – Programa de Pós-graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2000.

SANTOS, S. **Impacto Ambiental causado pela Indústria Têxtil.** In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 1997, Gramados. Anais... Gramados: ENEGEP, 1997.

SEBRAE - SP. **O desenvolvimento das MPEs no setor têxtil-confecção.** São Paulo, 2001. Disponível em: <<http://www.sebrae.com.br/setor/textil>> Acesso em: 3 Jan. 2011.

SEBRAE. **Estudos e Pesquisas: Mercado de Confecção.** 2007. Disponível em: <<http://www.sebrae.com.br/exibeBia?id=1456&searchterm=moda>>. Acesso em 02 ago. 2010.

SECRETARIA DE ESTADO DA INDÚSTRIA E COMÉRCIO DO PARANÁ. **Proposta de programa de apoio ao desenvolvimento do setor têxtil paranaense.** Convenio SEIC/BADEP. s/d.

SETAC – Society of Environmental Toxicology and Chemistry. **Guidelines for Social Life Cycle Assessment of products.** Washington: UNEP, 2009.

SILVA, C. E. P. M. **Avaliação da incerteza de indicadores de desempenho ambiental: Estudo de caso.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Industrial. Salvador: Universidade Federal da Bahia, 2011.

SINDITÊXTIL - SP. **Sindicato das Indústrias de Fiação e Tecelagem no Estado de São Paulo.** Disponível em: <<http://www.sinditextilsp.org.br>> Acesso em: 03 jan. 2011.

TAN, T. Y. T. **Photocatalytic reduction of selenate and selenite : water/wastewater treatment and the formation of nano-selenium compounds.** Thesis (Doctor of Philosophy) – The University of New South Wales, Sydney, 2003.

UDO DE HAES, H. A. ; JOLLIET, O. ; FINNVEDEN, G.; HAUSCHILD, M. ; KREWITT, W. ; MÜLLER-WENK, R. Best available practice regarding impact categories and category

indicators in life cycle impact assessment. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, Landsberg, v.4, n.3, p.167-174, 1999.

URBAN, M. L. P.; BESEN, G. M. V.; GONÇALVES, J. S.; SOUZA, S. A. M. **Desenvolvimento da Produção de Têxteis de Algodão no Brasil**. Informações Econômicas, v.25, n.12, dez. 1995.

VALLE, C. E. **Qualidade ambiental ISO 14000**. São Paulo: Editora Senac, 2004.

VALT, Renata B. G. **Análise do Ciclo de Vida de embalagens de PET, de alumínio e de vidro para refrigerantes no Brasil variando a taxa de reciclagem dos materiais**. Dissertação (Mestrado) - Pós-graduação em Engenharia. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2004.

VICUNHA TÊXTIL. **Produtos / Malhas**. Disponível em: <www.vicunha.com.br/br/produtos/malhas.asp> Acesso em 02 ago. 2010.

XAVIER, J. H. V.; CALDEIRA-PIRES, A. Uso potencial da metodologia de análise de ciclo de vida (ACV) para a caracterização de impactos ambientais na agricultura. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, Brasília, v. 21, n.2, p. 311-341, maio/ago. 2004. Disponível em: <<http://webnotes.sct.embrapa.br/pdf/cct/v21/v21n2p311.pdf>>. Acesso em: 2 jun. 2011.