

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO

AVALIAÇÃO AMBIENTAL DO PROCESSO PRODUTIVO DE
APARELHOS DE AR-CONDICIONADO UTILIZANDO A
FERRAMENTA ANÁLISE DO CICLO DE VIDA (ACV)

DAISY AMED DAS CHAGAS DE FREITAS

MANAUS

2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

DAISY AMED DAS CHAGAS DE FREITAS

AVALIAÇÃO AMBIENTAL DO PROCESSO PRODUTIVO DE
APARELHOS DE AR-CONDICIONADO UTILIZANDO A
FERRAMENTA ANÁLISE DO CICLO DE VIDA (ACV)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Amazonas, como parte do requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, área de concentração Gestão de Produção.

Orientadora: Prof^a Dr^a Elaine Ferreira

MANAUS

2013

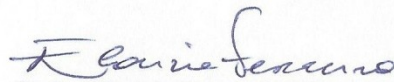
DAISY AMED DAS CHAGAS DE FREITAS

AVALIAÇÃO AMBIENTAL DO PROCESSO PRODUTIVO DE APARELHOS
DE AR-CONDICIONADO UTILIZANDO A FERRAMENTA ANÁLISE DO
CICLO DE VIDA (ACV)

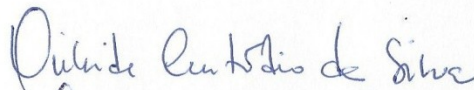
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Amazonas, como parte do requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, área de concentração Gestão de Produção.

Aprovado em 22 de julho de 2013.

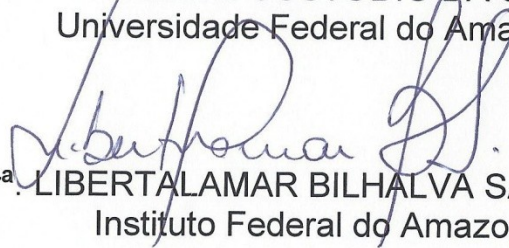
BANCA EXAMINADORA



Prof^a. Dr^a. ELAINE FERREIRA, Presidente.
Universidade Federal do Amazonas



Prof^a. Dr^a. OCILDE CUSTÓDIO DA SILVA, Membro.
Universidade Federal do Amazonas



Prof^a. Dr^a. LIBERTALAMAR BILHALVA SARAIVA, Membro.
Instituto Federal do Amazonas

*Aos meus filhos amados, por
quem tudo vale a pena.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, minha fonte de vida e esperança, por ter me conduzido até aqui, e por ter me feito forte e perseverante;

Aos meus queridos Pais, Manoel José e Maria (*in Memoriam*), que através de seus exemplos de vida, caráter e honestidade, me ensinaram a ser o que sou hoje;

Aos meus filhos, Maria Gabriela e João Guilherme, que souberam compreender desde sempre, o valor do meu esforço;

Ao meu esposo, Moisés, que, através de suas atitudes e postura, me incentivou a seguir sempre em frente;

À minha querida irmã, Teresa Raquel, que acreditou em mim e me encorajou, desde o início, a enfrentar essa jornada;

A toda minha família, que com a sinceridade e pureza de suas orações permitiram renovar minhas forças e esperanças para vencer os desafios;

À minha Orientadora, Prof^a. Dr^a. Elaine Ferreira, por sua disponibilidade e dedicação fundamentais para o desenvolvimento do trabalho;

À Electrolux da Amazônia Ltda, na pessoa do Sr. Ernani Vons, Gerente de Manufatura, que acreditou nesse projeto e abriu as portas da empresa para a realização da pesquisa;

Aos funcionários da Electrolux da Amazônia Ltda, em especial, à Marcia Souza, Coordenadora do SGI; ao Geraldo Vieira, Químico Responsável; e ao Evaldo Lima, pela colaboração, empenho e paciência, na disponibilização de dados e informações imprescindíveis para a realização do trabalho;

Ao colega pesquisador, Edivan Cherubine, membro do grupo de pesquisa de Análise do Ciclo de Vida (CICLOG), pela sua cooperação, generosidade e disponibilidade em me auxiliar na utilização do *software* SimaPro;

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, pelo apoio financeiro;

A todos que direta ou indiretamente, contribuíram para a concretização desse trabalho.

*“From the day we arrive on the planet
And blinking, step into the sun
There's more to be seen than can ever be seen
More to do than can ever be done
Some say eat or be eaten
Some say live and let live
But all are agreed as they join the stampede
You should never take more than you give*

*In the circle of life
It's the wheel of fortune
It's the leap of faith
It's the band of hope
Till we find our place
On the path unwinding
In the circle, the circle of life ...”*

(Elton John)

RESUMO

A indústria de aparelhos de ar-condicionado é grande consumidora de matérias-primas e forte geradora de resíduos. O processo de produção e cada uma das etapas do ciclo de vida desses produtos acarretam impactos que contribuem para a degradação ambiental. O aparelho de ar-condicionado é um dos principais produtos manufaturados no Polo Industrial de Manaus e um dos mais vendidos no comércio local, devido às altas temperaturas, típicas da região. Diante disso, o presente trabalho avaliou os aspectos ambientais e impactos potenciais envolvidos no processo produtivo de aparelhos de ar-condicionado de janela, utilizando a ferramenta Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). A ACV é uma técnica de gestão ambiental fundamentada na construção de inventário que considera as entradas de matérias-primas e energia, e as emissões de resíduos associadas ao processo produtivo. Nesse contexto, foi realizado um estudo de caso na Electrolux da Amazônia Ltda, empresa fabricante de condicionadores de ar do PIM, onde se fez o levantamento dos dados através de pesquisa documental, realização de entrevistas e aplicação de questionários, moldados com base no foco do trabalho e nas diretrizes estabelecidas pela ABNT NBR ISO 14040:2009, para o estudo da ACV. Num segundo momento, foi aplicada a metodologia de ACV, através da utilização do *software* SimaPro 7.3, versão educacional *Faculty*, com o objetivo de identificar os impactos ambientais envolvidos. Os resultados obtidos na avaliação ambiental do processo produtivo de aparelhos de ar-condicionado de janela constataram que os componentes eletrônicos, os painéis e circuitos impressos e os componentes elétricos representam a maior carga ambiental na produção desses aparelhos, em função da diversidade de elementos e compostos químicos presentes em suas composições e da presença de substâncias tóxicas que acarretam danos à saúde humana e ao meio ambiente. Os principais impactos potenciais, para os quais esses insumos contribuem, são os efeitos carcinogênicos, a utilização de combustíveis fósseis e os efeitos respiratórios inorgânicos. Os impactos potenciais abrangem as categorias de danos à saúde humana, à qualidade do ecossistema e aos recursos naturais, sendo o primeiro o mais expressivo. O diagnóstico dessa avaliação tornou possível a construção de um referencial de pesquisa para análise e compreensão de questões relativas ao setor produtivo de aparelhos de ar-condicionado, contribuindo para a promoção de melhorias no desenvolvimento do produto e do processo, favorecendo uma produção mais limpa direcionada para a sustentabilidade.

Palavras-chaves: Processo produtivo, Análise do Ciclo de Vida, Ar-condicionado, Impacto ambiental.

ABSTRACT

The industry of air conditioning is a major consumer of raw materials and strong generator of waste. The production process and each step in the life cycle of such products cause impacts contributing to environmental degradation. The air conditioning is one of the leading manufactured products in the Industrial Pole of Manaus and the most sold in the local market due to high temperatures, typical of the region. Therefore, this study evaluated the environmental aspects and potential impacts involved in the production process of window air conditioner, using the tool of Life Cycle Assessment (LCA). LCA is a technique for environmental management based on inventory construction that considers the inputs of raw materials and energy, and waste emissions associated with the production process. In this context, a case study has been conducted in the Amazon Electrolux Ltd, manufacturer of air conditioners of the PIM, where the collection of data was made through desk research, interviews and questionnaires, molded based on the focus of the work and the guidelines established by ABNT NBR ISO 14040:2009, for the study of LCA. Secondly, the LCA methodology was applied, using software SimaPro 7.3 Faculty educational version, in order to identify the environmental impacts involved. The results obtained in the environmental assessment of the production process of window air-conditioning found that the electronic components, printed circuit boards and electrical components represent the greatest environmental burden in the production of these devices, due to the diversity of elements and compounds chemicals present in their compositions and the presence of toxic substances that cause harm to human health and the environment. The main potential impacts to which these inputs contribute are the carcinogenic effects, the use of fossil fuels and inorganic respiratory effects. Potential impacts include the categories of harm to human health, to ecosystem quality and to natural resources, the first being the most significant. The diagnosis of this evaluation made possible the construction of a benchmark survey for analysis and understanding of issues relating to the productive sector of air conditioning, contributing to the promotion of improvements in the product development and process, favoring cleaner production directed for sustainability.

Keywords: Production Process, Life Cycle Analysis, Air-conditioning, environmental impact.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: [Relação entre as empresas e o meio ambiente](#)8

Figura 2: Ciclo de vida do produto10

Figura 3: Fases de uma ACV19

Figura 4: Elementos da AICV23

Figura 5: Interpretação do ciclo de vida e as outras fases da ACV25

Figura 6: Sistema de ar-condicionado com duas unidades 32

Figura 7: Componentes de ar-condicionado de janela ou parede34

Figura 8: Unidade interna do ar-condicionado *split*

Figura 9: Unidade externa do ar-condicionado *split*

Figura 10: Esquema do ar-condicionado portátil

Figura 11: Elementos do sistema de ar-condicionado veicular

Figura 12: Diagrama de funcionamento de um aparelho de ar-condicionado

Figura 13: Esquema Metodológico da Pesquisa

Figura 14: Localização geográfica da Electrolux da Amazônia Ltda

Figura 15: [Aparelho de ar-condicionado de parede ou janela fabricado na Electrolux](#)

Figura 16: [Dimensões dos aparelhos de ar-condicionado de janela da Electrolux](#)

Figura 17: [Vista explodida de um aparelho de ar-condicionado de janela](#)

Figura 18: [Fluxograma geral do processo produtivo de condicionadores de ar de janela](#)

Figura 19: [Fases do processo produtivo de aparelhos de ar-condicionado de janela](#)

Figura 20: [Fluxograma da Metalurgia na produção de condicionadores de ar de janela](#)

Figura 21: [Fluxograma técnico do Trocador de calor](#)

Figura 22: [Fluxograma da Pintura de gabinete](#)

Figura 23: [Fluxograma técnico da Linha de Montagem do processo produtivo de aparelhos de ar-condicionado de janela](#)72

Figura 24: Sistema de produto de aparelhos de ar-condicionado

Figura 25: [Fluxo simplificado da produção de ar-condicionado de janela](#)81

Figura 26: Fluxograma do subsistema de Aquisição de matéria-prima

Figura 27: Fluxo de entradas e saídas da Metalurgia

Figura 28: Fluxograma de entradas e saídas do Trocador de calor

Figura 29: Fluxograma do subsistema de Pintura de gabinete

Figura 30: Fluxograma das entradas e saídas de materiais da Linha de montagem

Figura 31: Fluxograma do subsistema de Embalagem do produto

Figura 32: Fluxograma do subsistema de Transporte interno

Figura 33: Rede de pontuação única do processo produtivo de aparelho de ar-condicionado de janela_2

Figura 34: Caracterização dos impactos potenciais da produção de aparelhos de ar-condicionado de janela

Figura 35: Ponderação dos impactos potenciais da produção de aparelhos de ar-condicionado de janela

Figura 36: Avaliação de danos causados pelo processo produtivo de aparelhos de ar-condicionado de janela

Figura 37: Ponderação dos Impactos ambientais por categorias de danos no processo de produção de aparelhos de ar-condicionado de janela

Figura 38: Impactos ambientais gerados nas etapas de produção de aparelhos de ar-condicionado de janela

Figura 39: Avaliação de danos por etapas de produção de aparelhos de ar-condicionado de janela

Figura 40: [Fluxograma de controle da coleta de resíduos sólidos](#)

Quadro 1: Normas ISO que direcionam o desenvolvimento da ACV.....	14
Quadro 2: Fluidos refrigerantes e suas constantes físicas.....	43
Quadro 3: Unidades das categorias de impacto.....	101
Quadro 4: Substâncias tóxicas e os danos à saúde humana	114
Quadro 5: Resíduos do Processo produtivo da Electrolux e sua destinação.....	121

Tabela 1: Características de aparelhos de ar-condicionado de janela de 7500 e 10000 BTUS

Tabela 2: Matérias-primas e insumos para a produção de aparelhos de ar-condicionado de janela

Tabela 3: Inventário das entradas na produção de aparelhos de ar-condicionado de janela

Tabela 4: Inventário das saídas da produção de aparelhos de ar-condicionado de janela

Tabela 5: [Inventário das quantidades de matérias-primas e insumos da Metalurgia](#)

Tabela 6: [Inventário das quantidades de coprodutos e resíduos gerados na Metalurgia](#)

Tabela 7: Inventário das entradas de matérias-primas e insumos do Trocador de calor

Tabela 8: Inventário das quantidades de resíduos e emissões do Trocador de calor

Tabela 9: Inventário das entradas de matérias-primas e insumos da Pintura de gabinete¹

Tabela 10: Inventário das saídas estimadas para o subsistema de Pintura de gabinete

Tabela 11: Inventário das entradas de materiais na Linha de montagem

Tabela 12: Inventário das emissões de resíduos da Linha de montagem

Tabela 13: Inventário das entradas de materiais na Embalagem do produto

Tabela 14: Inventário das saídas de resíduos da Embalagem do produto

Tabela 15: Inventário das entradas de materiais no Transporte interno

Tabela 16: Inventário das saídas de resíduos gerados no Transporte interno

LISTA DE SIGLAS

ABCV – Associação Brasileira de Ciclo de Vida

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AC – Ar-condicionado

ACV – Análise do Ciclo de Vida

AICV – Análise do Inventário do Ciclo de Vida

ASBRAV – Associação Sul Brasileira de Refrigeração, Ar condicionado, Aquecimento e Ventilação

CAD – Projeto Assistido por Computador

CB – Comitê Brasileiro

CFC – Clorofluorcarbono

CILCA – Conferência Internacional sobre Avaliação do Ciclo de Vida

CIPA – Coletor Isocinético de Poluentes Atmosféricos

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CRI – Central de Resíduos Industriais

CT – Comitê Técnico

DALY – *Disability Adjusted Life Years* ou Anos de Vida ajustados à Deficiência

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO – Demanda Química de Oxigênio

EPA – *United States Environmental Protection Agency* ou Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos

EPS – Poliestireno Expandido

ETE – Estação de Tratamento de Efluente

GLP – Gás Liquefeito de Petróleo

GWP – *Global Warming Potential* ou Potencial de Aquecimento Global

HCFC – Hidroclorofluorcarbono

HFC – Hidrofluorcarbono

IBICT – Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia

ICV – Inventário do Ciclo de Vida

ISO – *International Organization for Standardization* ou Organização Internacional para Padronização

LCA – *Life Cycle Assessment* ou Avaliação do Ciclo de Vida

LCD – *Display* de Cristal Líquido

MCT – Ministério de Ciência e Tecnologia

NBR – Norma Brasileira

OCDE – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico

ODP – *Ozone Depletion Potential* ou Potencial de Destruição da Camada de Ozônio

ONG – Organização Não Governamental

PAF – *Potentially Affected Fraction* ou Fração de Espécies Potencialmente Afetadas

PCB – Bifenila Policlorada

PCI – Placa de Circuito Impresso

P&D – Pesquisa e Desenvolvimento

PDF – *Potentially Disappeared Fraction* ou Fração de Espécies Potencialmente Desaparecidas

PEBD – Polietileno de Baixa Densidade

PGA – Programa de Gestão Ambiental

PIM – Polo Industrial de Manaus

PP – Polipropileno

PNUMA – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

REPA – *Resource and Environmental Profile Analysis* ou Recursos e Análise do Perfil Ambiental

SC – Subcomitê

SETAC – *Society for Environmental Toxicology and Chemistry* ou Sociedade de Toxicologia e Química Ambiental

SGI – Sistema de Gestão Integrado

SIMAPRO – *System for Integrated Environmental Assessment of Products* ou Sistema de Avaliação Integrada de Produtos

SUFRAMA – Superintendência da Zona Franca de Manaus

BTU – *British Thermal Unit* ou Unidade Térmica Britânica

Kg – Kilograma

kPt – 1000 Pt

kWh – Quilowatt - hora

m² – Metro quadrado

m³ – Metro cúbico

MJ – Megajoule

pH – Potencial Hidrogeniônico

Pt – *Point ou Ponto*

TR – Tonelada de Refrigeração

CCl₂F₂ – Diclorodifluormetano

CCl₃F – Tricloromonofluormetano

CF₃CH₂F – 1,1,1,2-Tetrafluoretano

CHClF₂ – Clorodifluormetano

CO₂ – Gás Carbônico

H₂O – Água

NH₃ – Amônia

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	iv
RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE QUADROS	x
LISTA DE TABELAS	xi
LISTA DE SIGLAS	xii
LISTA DE SÍMBOLOS E FÓRMULAS	xv
SUMÁRIO	xvi
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Do contexto ao problema	1
1.2 Objetivos	3
1.2.1 Objetivo Geral	3
1.2.2 Objetivos Específicos	3
1.3 Justificativa	3
1.4 Delimitação do estudo	5
1.5 Estrutura do trabalho	5
2. REVISÃO DA LITERATURA	7
2.1 As empresas e o meio ambiente	7
2.2 Ciclo de vida do produto	9
2.2.1 Conceito do Ciclo de Vida	9
2.3 Análise do Ciclo de Vida (ACV)	11
2.3.1 Conceito de Análise do Ciclo de Vida	11
2.3.2 Normas que definem as diretrizes para o desenvolvimento do estudo de Análise do Ciclo de Vida	13
2.3.3 Evolução Histórica da Análise do Ciclo de Vida	15
2.3.4 A Análise do Ciclo de Vida no Brasil	18
2.3.5 Estrutura Metodológica do Estudo de Análise do Ciclo de Vida	19
2.3.5.1 Definição do objetivo e escopo	20
2.3.5.2 Análise do inventário do ciclo de vida (ICV)	21
2.3.5.3 Avaliação do impacto do ciclo de vida (AICV)	22
2.3.5.4 Interpretação do ciclo de vida	24
2.3.6 Objetivos e Aplicações da Análise do Ciclo de Vida	25
2.3.7 Limitações da Análise do Ciclo de Vida	28
2.4 O Produto: aparelhos de ar-condicionado de janela	28

2.4.1	Conceito de ar-condicionado	28
2.4.2	Breve história dos aparelhos de ar-condicionado	29
2.4.3	Características dos aparelhos de ar-condicionado	31
2.4.4	Tipos de aparelhos de ar-condicionado	33
2.4.5	Legislação para o uso e instalação de aparelhos de ar-condicionado	37
2.4.6	Funcionamento do condicionador de ar	38
2.4.7	Refrigerantes	40
3.	METODOLOGIA DA PESQUISA	46
3.1	Fundamentação	46
3.2	Procedimentos	47
3.3	Coleta de Dados	48
3.4	Tratamento dos Dados	49
3.5	Validação dos Resultados	55
4.	ESTUDO DE CASO: Avaliação ambiental do processo produtivo de aparelhos de ar-condicionado de janela, utilizando a ferramenta Análise do Ciclo de Vida	57
4.1	Metodologia	57
4.2	Caracterização da Empresa	57
4.3	Caracterização do produto	60
4.4	O processo produtivo de aparelhos de ar-condicionado de janela	65
4.5	Análise do Ciclo de Vida em aparelhos de ar-condicionado de janela	74
4.5.1	Definição de objetivo e escopo	74
4.5.1.1	Objetivo	74
4.5.1.2	Escopo	75
4.5.1.2.1	Sistema de produto	75
4.5.1.2.2	Função do Sistema de produto	76
4.5.1.2.3	Unidade funcional	76
4.5.1.2.4	Fluxo de referência	77
4.5.1.2.5	Fronteiras do sistema	77
4.5.1.2.6	Procedimentos de alocação	78
4.5.1.2.7	Categorias de impacto e metodologia de avaliação de impactos	78
4.5.1.2.8	Requisitos de dados	78
4.5.1.2.9	Limitações	79
4.5.1.2.10	Tipo de revisão crítica	80
4.5.1.2.11	Tipo e formato do relatório requerido para o estudo	80
4.5.2	Análise de Inventário de Ciclo de Vida (ICV)	80

4.5.2.1 Inventário para o subsistema de Aquisição de matéria-prima	82
4.5.2.2 Inventário para o subsistema de Metalurgia ou Estampagem das peças	85
4.5.2.3 Inventário para o subsistema de Trocador de calor ou Brasagem	87
4.5.2.4 Inventário para o subsistema de Pintura de gabinete	90
4.5.2.5 Inventário para o subsistema de Linha de montagem do produto	93
4.5.2.6 Inventário para o subsistema de Embalagem do produto	97
4.5.2.7 Inventário para o subsistema de Transporte do produto	98
4.5.3 Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV)	101
4.5.4 Interpretação do ciclo de vida	110
5. CONCLUSÃO	117
5.1 Sugestões para trabalhos futuros	124
REFERÊNCIAS	125
APÊNDICES	132
APÊNDICE A – Questionário 1: Estrutura Organizacional da Empresa.	132
APÊNDICE B – Questionário 2: Processo Produtivo.	143
APÊNDICE C – Formulário para Fluxos de Saída	151
APÊNDICE D – Formulário para Fluxos de Entrada.	152
APÊNDICE E – Formulário para Transporte.	153

1. INTRODUÇÃO

1.1 Do contexto ao problema

O acúmulo de problemas ambientais no Brasil e no mundo é considerado um dos maiores desafios estabelecidos pela globalização, pelo progresso tecnológico e pelo consumo desenfreado. Nos mais diversos âmbitos da sociedade muito se têm discutido na tentativa de buscar mecanismos, posturas e atitudes proativas em benefício da preservação ambiental que permitam eliminar ou minimizar a escassez de recursos naturais, a intensificação da degradação ambiental, a alta geração de resíduos e os impactos ambientais que devastam o planeta. A responsabilidade e o compromisso com o meio ambiente têm colocado as empresas no centro dessa discussão.

Sabe-se que o meio ambiente vem pagando um alto preço pelo grande crescimento da produção de bens e serviços. Os produtos logo se tornam obsoletos, especialmente os eletroeletrônicos, dando lugar à outra geração com novas tecnologias agregadas. O novo e o velho acabam se encontrando no descarte, nem sempre adequado, dos resíduos gerados pela evolução tecnológica. Com o surgimento de novas tecnologias nesse setor, ocorre uma migração natural para novos produtos, evidenciando a importância da destinação adequada para os equipamentos ultrapassados, uma vez que seus componentes podem acarretar problemas ambientais e de saúde.

Por outro lado, em função da presença de alguns componentes, esses produtos podem apresentar alto valor agregado, de modo que se torna imprescindível pensar em processos de descarte de resíduos eletroeletrônicos que priorizem a remanufatura, a reciclagem e a reutilização desses componentes (BREJÃO, 2012). A inserção, no ciclo produtivo de subprodutos reciclados desses resíduos, viabiliza a redução de custos e tempo de produção, a necessidade de extração de matéria-prima, do consumo de energia, e dos impactos ambientais inerentes à produção, uso e disposição de equipamentos dessa natureza.

O crescimento da consciência ecológica, dos modos de pensar e agir da sociedade, levam as empresas, muitas vezes, por imposição legal ou de mercado, a redirecionar suas estratégias para a implementação de uma cadeia produtiva sustentável e ambientalmente responsável, fornecendo produtos que não agridam o meio ambiente, minimizem a utilização de recursos e energia, eliminem as emissões de resíduos e favoreçam o reuso e a reciclagem.

Para Zoldan (2008), o crescimento econômico das empresas deve estar fundamentado no desenvolvimento sustentável, garantindo a disponibilidade e o uso racional dos recursos,

eliminando os desperdícios e gerenciando os resíduos. Nesse contexto, a gestão ambiental no setor industrial passa a ser fator determinante para assegurar o posicionamento do produto no mercado competitivo e, um passo primordial para a sustentabilidade.

As empresas tem buscado incorporar as questões ambientais em sua prática. Essa mudança de enfoque direciona-as para a necessidade de conhecer melhor seus processos produtivos e o ciclo de vida de seus produtos, buscando reduzir ou eliminar os impactos ambientais negativos causados por eles. Uma alternativa viável para auxiliar nesse processo é a utilização da técnica de Análise do Ciclo de Vida (ACV).

A ACV é uma ferramenta de gerenciamento ambiental que tem como foco o controle ou a redução dos impactos ambientais associados a todos os estágios do ciclo de vida do produto, “do berço ao túmulo”, ou seja, desde a extração da matéria-prima até a disposição final, incluindo as etapas de produção, distribuição, transporte e consumo. Para a realização de um estudo de ACV é necessário um levantamento das entradas (matéria-prima, insumos e energia) e saídas (produtos, resíduos e emissões) de um processo ou de um ciclo produtivo (CHEHEBE, 2002).

A indústria de eletroeletrônicos é grande consumidora de matérias-primas e forte geradora de resíduos. O processo de produção e cada uma das etapas do ciclo de vida desses produtos acarretam impactos que contribuem para a degradação ambiental. O condicionador de ar está incluído nesse grupo e merece atenção especial, por ser um produto de alto consumo na cidade de Manaus e em toda a região norte do País, devido às altas temperaturas durante o ano inteiro. Nessa pesquisa se pretendeu conhecer a relação entre o seu processo produtivo e o meio ambiente, identificando as interações ambientais associadas a esse tipo de produto, com a finalidade de controlar e minimizar esses impactos através de um processo adequado de gerenciamento ambiental.

Diante disso, esse trabalho se propôs a analisar os aspectos ambientais e impactos potenciais envolvidos no processo produtivo dos condicionadores de ar de janela, utilizando a ferramenta Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), buscando responder o seguinte questionamento: **Considerando o sistema de produção de aparelho de ar-condicionado, quais os elementos que interagem com o meio ambiente e os impactos negativos que ocorrem como consequência dessa interação?**

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo geral avaliar os aspectos ambientais e impactos potenciais envolvidos no processo produtivo de aparelhos de ar-condicionado de janela, utilizando a ferramenta Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).

1.2.2 Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo principal da pesquisa, destacam-se os seguintes objetivos específicos:

- Identificar, no sistema de produção de aparelhos de ar-condicionado de janela, os fluxos de entrada e saída de recursos, energia e emissões, associados ao produto;
- Reunir dados qualitativos e quantitativos para a análise e hierarquização de impactos ambientais na indústria de aparelhos de ar-condicionado;
- Caracterizar os impactos ambientais associados às entradas e saídas de recursos, energia e emissões, envolvidas na produção de aparelhos de ar-condicionado de janela.

1.3 Justificativa

O interesse pela realização dessa pesquisa originou-se da preocupação com os graves problemas ambientais oriundos do consumo excessivo incentivado pela mídia e pelos fabricantes de bens de consumo, e do descarte de equipamentos eletroeletrônicos ao fim de sua vida útil, cada vez mais curta em função do avanço tecnológico.

Em decorrência disso, uma atenção especial se volta para os aparelhos de ar-condicionado, uma vez que a disposição final desses produtos se dá, muitas vezes, de forma inapropriada. São dispostos em lixões, aterros sanitários, ou simplesmente jogados em terrenos baldios ou próximos a mananciais. Na atual conjuntura, onde se busca economia, qualidade total, viver mais e melhor, tais fatos levam à reflexão sobre a utilização de recursos naturais e de energia, a prática dos processos produtivos e a disposição final de resíduos pós-consumo.

Nesse contexto, um eixo relevante a ser considerado é a relação das empresas com o meio ambiente. Essa análise discute se a gestão ambiental empresarial contribui ou não para a redução significativa dessa problemática, e se contribui, de que maneira o faz. As empresas

têm papel fundamental na sustentabilidade do planeta, pois são responsáveis diretas pela produção e comercialização da maioria dos bens e serviços disponibilizados para a sociedade.

O aparelho de ar-condicionado está relacionado como um dos principais produtos fabricados no Polo Industrial de Manaus, que conta com oito empresas fabricantes e uma demanda crescente de comercialização, em função dos fatores climáticos da cidade. Segundo os Indicadores de Desempenho da Superintendência da Zona Franca de Manaus, SUFRAMA, no ano de 2011, dos 1.124.427 (um milhão, cento e vinte quatro mil, quatrocentos e vinte e sete) aparelhos de ar-condicionado de janela ou de parede produzidos, 924.988 (novecentos e vinte e quatro mil e novecentos e oitenta e oito) foram vendidos. Já em relação aos ar-condicionados *split system*, das 1.651.520 (um milhão, seiscentos e cinquenta e um mil, quinhentos e vinte) unidades produzidas, foram vendidas 1.463.026 (um milhão, quatrocentos e sessenta e três mil, e vinte e seis). Considerando as duas modalidades, o faturamento desse setor foi da ordem de R\$ 1.596.006.995,00 (um bilhão, quinhentos e noventa e seis milhões, seis mil, novecentos e noventa e cinco reais) (SUFRAMA, 2012).

O condicionador de ar é um equipamento de uso prolongado, grande consumidor de energia, que fica em funcionamento muitas horas durante o dia, causando um desgaste rápido de seus componentes e, conseqüente substituição por um novo equipamento. Outro fator preocupante é a mudança de tecnologia. Os ar-condicionados de janela ou parede estão sendo substituídos por modelos *split*, com tecnologia mais moderna e avançada. Vale ressaltar que os aparelhos de ar-condicionado de janela estão entrando no final de seu ciclo de vida. A substituição desses aparelhos evidencia a alta tendência à geração de resíduos pelo descarte e coopera com o agravamento das questões ambientais associadas à utilização dos recursos naturais e consumo energético, aquecimento global, vazamentos de fluidos refrigerantes, contaminação do solo, água e ar, e disposição de resíduos após o final da vida útil desses aparelhos. Dar uma destinação adequada para esses resíduos é o grande desafio para o consumidor, para a indústria e para as entidades governamentais.

Diante dessa problemática, a avaliação ambiental do processo produtivo de aparelhos de ar-condicionado, através da aplicação da ferramenta Análise do Ciclo de Vida, beneficia o setor produtivo e o meio ambiente, uma vez que o diagnóstico dos aspectos ambientais e dos impactos negativos identificados no sistema de produção possibilita: o aprimoramento no desenvolvimento do produto e do processo; a oportunidade de melhoria no planejamento estratégico na busca de alternativas para minimizar esses impactos; e a propagação de estudos

e aplicabilidade da ACV no Brasil. A Análise do Ciclo de Vida permite o gerenciamento ambiental sustentável através da análise de recursos naturais e perfis ambientais do produto.

1.4 Delimitação do Estudo

O estudo foi realizado na Electrolux da Amazônia Ltda, fábrica de aparelhos de ar-condicionado do Polo Industrial de Manaus (PIM), e desenvolveu uma análise dos aspectos ambientais e impactos potenciais envolvidos no processo produtivo de aparelhos de ar-condicionado de janela, utilizando a ferramenta Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).

1.5 Estrutura do Trabalho

O trabalho sobre a avaliação ambiental do processo produtivo de aparelhos de ar-condicionado de janela estrutura-se em seis capítulos, conforme dispostos a seguir:

O primeiro capítulo faz uma introdução ao tema da pesquisa, destacando a problemática e o contexto na qual ela está inserida, destaca os objetivos do estudo e oferece uma visão geral da importância da avaliação ambiental do processo produtivo de aparelhos de ar-condicionado de janela, por meio da utilização da ferramenta Análise do Ciclo de Vida.

No segundo capítulo é feita uma revisão da literatura, com o objetivo de fornecer o embasamento teórico para o desenvolvimento do tema em questão. Trata dos conceitos relevantes para o estudo, faz um relato da evolução histórica da Análise do Ciclo de Vida, aborda de forma genérica, a normatização que estabelece a metodologia de condução de um estudo de ACV e discute os principais componentes e as limitações na aplicação da técnica. Além disso, aborda também, o conceito, a classificação e o funcionamento dos aparelhos de ar-condicionado de janela.

O terceiro capítulo estabelece o delineamento da metodologia aplicada à pesquisa, descrevendo o método, o procedimento metodológico e as ferramentas de avaliação que foram utilizados. Além disso, apresenta a forma de coleta e tratamento dos dados para a discussão e interpretação dos resultados, com base nos objetivos do trabalho e nas diretrizes da ABNT NBR ISO 14040:2009, específicas para a identificação de impactos ambientais através do estudo de ACV.

O quarto capítulo apresenta o estudo de caso realizado, abordando a caracterização da empresa, do produto e do processo produtivo. Nesse capítulo são apresentadas todas as fases de desenvolvimento da Análise do Ciclo de Vida que constituem a metodologia de aplicação da técnica. Esse capítulo apresenta os resultados da pesquisa, obtidos no desenvolvimento da

Análise dos Impactos do Ciclo de Vida (terceira fase da ACV), e a discussão dos resultados, que equivale a Interpretação do ciclo de vida (quarta fase da ACV). Cabe salientar que os resultados e a discussão dos resultados da avaliação ambiental do sistema de produção de aparelhos de ar-condicionado de janela são obtidos a partir dos resultados da Análise do Ciclo de Vida.

O capítulo cinco disponibiliza as conclusões do trabalho, fundamentadas nos resultados apresentados no capítulo anterior, e expõe também as sugestões para trabalhos futuros.

E, finalmente, o sexto capítulo destaca as referências fundamentais, utilizadas na construção do trabalho.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 As empresas e o meio ambiente

É notório que a indústria tecnológica muito tem contribuído para o progresso da humanidade, uma vez que o indivíduo estabelece interação com o meio ambiente para gerar cada vez mais produtos que satisfaçam suas necessidades. Mas, esse avanço vem acompanhado de grandes desafios para as sociedades contemporâneas. Conhecer e estabelecer limites para a relação do homem com o meio em que vive talvez seja o maior deles. A ação destruidora do homem sobre o meio ambiente reflete as relações sociais, culturais e tecnológicas de uma sociedade. O esgotamento dos recursos naturais, o consumo excessivo, a poluição, o acúmulo de lixo e resíduos nos rios e cidades são frutos dessa relação conturbada.

Toda atividade econômica tem impacto ambiental negativo. Portanto, é primordial se pensar em produtos que não agridam o meio ambiente, intensificando-se os estudos acerca de seu ciclo de vida, desde a fase de planejamento e criação até o término de sua vida útil, e conseqüentemente, o descarte pós-consumo. É fundamental que as empresas avaliem seus produtos e processos buscando reduzir ao máximo as conseqüências ambientais geradas por eles. Essa proposta envolve diretrizes e atividades operacionais, definidas por uma gestão eficiente, que garanta a preservação e a sustentabilidade, a reciclagem das matérias-primas, a destinação adequada dos resíduos e a redução do impacto ambiental das atividades humanas sobre os recursos naturais elementares.

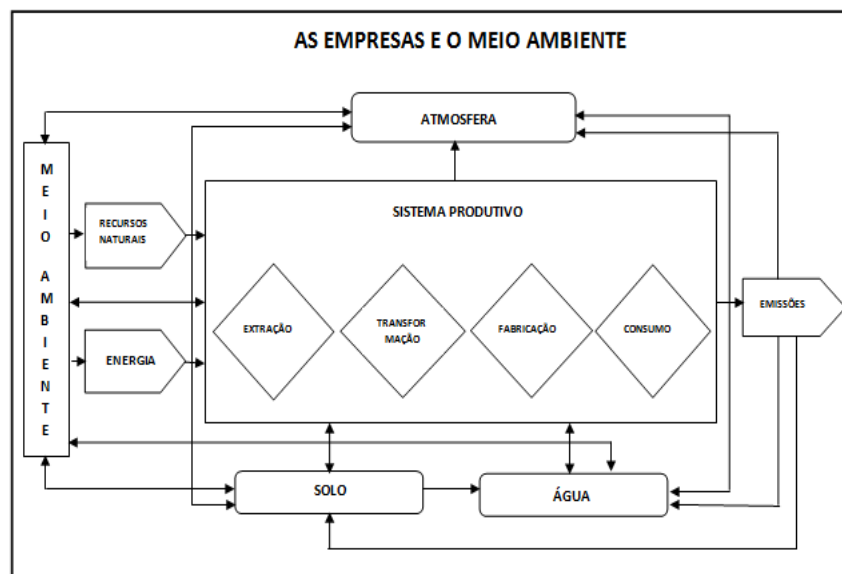
Como evidencia Barbieri (2004), o modelo de gestão ambiental deve contribuir para gerar renda e riqueza, minimizar os impactos e maximizar os benefícios, promovendo a eficiência econômica, a equidade social e o respeito ao meio ambiente. Essa gestão oferece um conhecimento detalhado da organização como um todo, contribuindo para a reengenharia de produtos e processos, aumentando a eficiência e a redução de custos, garantindo vantagens competitivas e atitudes proativas frente a um mercado cada vez mais exigente com as questões ambientais (LOPES; CASTANHEIRA; FERREIRA, 2005).

A tendência atual da gestão e da qualidade ambiental se baseia no desenvolvimento sustentável, que é entendido como o processo de transformação no qual a exploração dos recursos, a direção dos investimentos, a orientação do desenvolvimento tecnológico e a mudança institucional se harmonizem e reforcem o potencial presente e futuro, a fim de atender às necessidades e aspirações humanas.

Conforme enuncia o Princípio 8 da Agenda 21, para alcançar o desenvolvimento sustentável deve-se reduzir e eliminar os sistemas de produção e consumo não sustentáveis. Para Sato e Santos (1997, p.12), “o crescimento da população mundial e da produção, combinado com os padrões insustentáveis de consumo, ameaça à capacidade suporte do planeta, afetando o uso do solo, da água, do ar, da energia e de outros recursos essenciais”.

A Figura 1 exibe um fluxograma que mostra a relação entre a indústria e o meio ambiente, envolvendo as entradas de recursos e energia e as saídas de emissões para água, solo e atmosfera; bem como a inter-relação entre essas variáveis e as etapas do processo de manufatura do produto desenvolvidas pelas empresas.

Figura 1: Relação entre as empresas e o meio ambiente



Fonte: Adaptado de CHEHEBE, 2002.

As empresas estão se conscientizando de que a sustentabilidade é uma necessidade imposta pela sociedade e por isso estão introduzindo em suas práticas, conceitos e princípios baseados em três dimensões fundamentais: ambiental, econômica e social. Para garantir o desenvolvimento sustentável devem ser considerados esses três aspectos do tripé da sustentabilidade que buscam o equilíbrio ecológico, o crescimento econômico e a equidade social (PEDROSO, 2007).

Analisando essa questão, Bortolin (2009) afirma que a implementação do conceito de desenvolvimento sustentável na prática empresarial, precisa partir da redução dos impactos ambientais de seu processo produtivo; da redução do uso de matérias-primas e de emissões de resíduos para o meio ambiente; e da promoção do crescimento econômico e do desenvolvimento social. Tal prática deve fundamentar-se na renovação e otimização da

utilização dos recursos renováveis e não renováveis, bem como na não acumulação de resíduos que o ecossistema não seja capaz de renaturalizar (BORCHARDT *et al*, 2007).

As exigências crescentes, verificadas num mercado competitivo, além da preocupação com o esgotamento e o comprometimento dos recursos naturais, levam as empresas a observar as disposições da legislação ambiental de forma a se enquadrarem nos padrões superiores de qualidade de seus processos e produtos. Essa atitude gera redução de custos, pois elimina perdas e aumenta resultados no que diz respeito ao desenvolvimento aliado a qualidade ambiental.

Vale ressaltar que a prevenção é sempre mais barata e nela deve estar incluída a responsabilidade compartilhada e o uso de tecnologias que favoreçam essa prática. Diante disso, surge a necessidade de abordagens e ações que assegurem o desenvolvimento a partir da utilização adequada dos recursos naturais, da produção mais limpa, do consumo racional de bens e serviços, e da destinação adequada dos resíduos ao fim da vida útil dos produtos.

Assim sendo, a questão ambiental ganha dimensão mundial, principalmente no que diz respeito à preservação e a sustentabilidade do planeta, e o estudo do ciclo de vida do produto passa a representar um passo fundamental nessa direção, se destacando como um forte aliado para a otimização dessa perspectiva da gestão ambiental (ROBLES JUNIOR; BONELLI, 2010).

2.2 Ciclo de Vida do produto

2.2.1 Conceito do Ciclo de Vida

O ciclo de vida, como defende o Guia Nórdico de Avaliação do Ciclo de Vida, ou do inglês, *Nordic Guidelines on Life-Cycle Assessment* (1995), é um dos conceitos mais importantes para que a indústria possa compreender, gerenciar e reduzir os impactos no ambiente, na saúde e no consumo de recursos, associados aos processos, produtos e atividades. Esse conceito está diretamente ligado à importância do papel das empresas na avaliação e melhoria da qualidade ambiental dos produtos e do desenvolvimento de prática de negócios sustentáveis (NORD, 1995).

Entende-se por ciclo de vida, o conjunto de etapas necessárias para que um determinado produto cumpra sua função, desde a extração e obtenção dos recursos naturais usados na sua fabricação, até sua disposição final, após ter desempenhado a realização de sua função (SILVA; KULAY, 2006 *apud* SANTOS *et al*, 2010).

Segundo a ABNT NBR ISO 14040:2009, o ciclo de vida é constituído de estágios consecutivos e encadeados de um sistema de produto, desde a aquisição da matéria-prima ou de sua geração a partir de recursos naturais até a disposição final. Em um estudo de Avaliação de Ciclo de Vida, o ciclo de um produto inclui a extração e aquisição de matérias-primas através da produção de energia e materiais, a manufatura, o uso, o tratamento de fim de vida e a destinação final. Essa perspectiva torna possível identificar ou evitar transferências de cargas ambientais potenciais entre os estágios do ciclo de vida ou entre processos individuais.

Para Barbieri e Cajazeira (2009), o ciclo de vida de um bem ou serviço abrange toda a cadeia produtiva e envolve estágios de produção e comercialização desde a origem dos recursos naturais, até a disposição final dos resíduos de materiais após o consumo. O ciclo inicia com a exploração do meio ambiente (berço), como fonte de matérias-primas, energia, água e uso do solo, e finaliza com a utilização desse meio ambiente (túmulo) para a disposição final de resíduos não reaproveitados. É, portanto uma análise do “berço ao túmulo”.

Na visão de Ribeiro, Almeida e Gianneti (2003), o ciclo de vida representa a evolução do produto desde a sua concepção até a sua disposição final, levando em consideração todas as etapas que permeiam esses extremos como extração da matéria-prima, produção, distribuição, transporte, consumo, e gerenciamento dos resíduos pós-consumo. Essas etapas são sucessivas e se interligam constituindo a história de vida do produto. Esse ciclo, como mostra a Figura 2, se inicia com a retirada dos recursos naturais e energia envolvidos no sistema produtivo, e finda com o retorno dos materiais, em forma de resíduos, para a natureza.

Figura 2: Ciclo de vida do produto



Fonte: Adaptado de NOVAES, 2012.

Os principais estágios do ciclo de vida de um produto são: a aquisição da matéria-prima ou extração dos recursos naturais, realizada pelos fornecedores; o processamento da matéria-prima para obtenção de materiais ou peças que serão transformados em produto no estágio de manufatura, ocorrendo sob o controle da indústria; a embalagem e o transporte, que podem ou não ficar a cargo do fabricante; o uso pelo consumidor; e a reciclagem, o reuso ou o descarte que tem a responsabilidade compartilhada entre fabricante, consumidor e governo (RIBEIRO; ALMEIDA; GIANNETTI, 2003).

É importante salientar que todas as etapas do ciclo de vida, em maior ou menor grau, causam impactos ambientais, por esse motivo é importante considerar o desenvolvimento do produto, do processo e do consumo sob a perspectiva da sustentabilidade e da responsabilidade ambiental. Com isso, o resultando obtido é a redução considerável desses impactos.

Para se desenvolver um estudo do ciclo de vida pode-se optar pela utilização da ferramenta Análise do Ciclo de Vida (ACV), que é a compilação e avaliação das entradas, saídas e impactos ambientais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida ou do seu processo produtivo (FERREIRA, 2004). Essa técnica possibilita o conhecimento detalhado dos estágios, insumos, processos, energia e transporte, envolvidos no ciclo de vida do produto, para a partir disso, identificar os impactos ambientais causados pelo consumo de matéria-prima e pelas conseqüentes emissões que ocorrem ao longo da vida do produto.

2.3 Análise do Ciclo de Vida (ACV)

2.3.1 Conceito de Análise do Ciclo de Vida

A Análise ou Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) ou, do inglês, *Life Cycle Assessment* (LCA) é uma ferramenta importante que avalia o ciclo completo do produto dentro de toda a cadeia produtiva. Tem sua origem na crescente conscientização da necessidade de preservação do meio ambiente que aponta para a criação de métodos e técnicas que possibilitem minimizar os impactos ambientais associados à produção e ao consumo dos produtos.

A ABNT NBR ISO 14040:2009 define a Análise do Ciclo de Vida como uma técnica utilizada para avaliar aspectos ambientais e impactos potenciais ao longo da vida de um produto, desde a aquisição da matéria-prima, passando pela produção, uso e disposição. Os aspectos ambientais são os elementos das atividades, produtos ou serviços de uma organização que podem interagir com o meio ambiente. Já os impactos potenciais são as modificações do meio ambiente que ocorrem em consequência dessas interações. Vale

ressaltar que as categorias de impacto a serem consideradas nessa avaliação, compreendem a utilização da matéria-prima, a saúde humana e as implicações ecológicas.

Para a *United States Environmental Protection Agency* (EPA), ou Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, o conceito da ACV envolve a compilação e a avaliação, de acordo com um conjunto sistemático de procedimentos, das entradas e saídas de materiais e energia e os impactos ambientais potenciais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida. É um processo utilizado para avaliar os encargos ambientais associados a um produto, processo ou atividade, através da identificação e quantificação do consumo de energia e materiais e lançamentos para o meio ambiente, abrangendo todo o ciclo de vida do produto, processo ou atividade, incluindo extração e processamento de matérias-primas, fabricação, transporte, distribuição, uso, reutilização e manutenção, reciclagem e disposição final do produto (EPA, 2013).

Todo produto, como menciona Chehebe (2002), gera impacto no meio ambiente, seja em função do processo produtivo, da matéria-prima, do consumo, ou do descarte. A Análise do Ciclo de Vida é, então, uma técnica de gerenciamento ambiental, utilizada para avaliar o fluxo elementar do sistema de produto e esses impactos gerados ao longo de todo o seu ciclo de vida. Essa análise se dá por meio de um balanço que considera as entradas de recursos, materiais e energia e as saídas de produtos, subprodutos e emissões.

Nessa mesma linha, Ribeiro, Almeida e Gianneti (2003), defendem que a ACV do produto, processo ou atividade é uma avaliação sistemática que quantifica os fluxos de energia e de materiais no ciclo de vida do produto. Em outras palavras, a ACV é uma compilação e avaliação dos *inputs*, *outputs* e impactos ambientais potenciais de um sistema de produto através de seu ciclo de vida.

De acordo com Barbosa Júnior *et al* (2008), a ACV induz a empresa a analisar as questões ambientais integradas à cadeia produtiva e possibilita avaliar o impacto ambiental de um produto, processo ou sistema desde a extração da matéria-prima, até a sua disposição final. Com isso a ACV vai além dos limites da empresa, permitindo estabelecer uma gestão empresarial que estimule bons resultados e fomente processos de tomada de decisão adequados, construindo um instrumento norteador que projeta o futuro de uma organização comprometida com o desenvolvimento sustentável.

O estudo de ACV desenvolve uma análise direcionada para a sustentabilidade e preservação do meio ambiente, levando em consideração todo o ciclo de vida do produto. É

uma análise mais ampla que abrange desde a extração de matéria-prima, os fluxos de entradas e saídas de materiais, energia e emissões, a manufatura, o transporte, a distribuição, o consumo, até a disposição final do produto, com o foco na determinação das categorias de impactos ambientais como ecotoxicidade, aquecimento global, acidificação, degradação da camada de ozônio e a escassez dos recursos naturais, associados ao produto (HINZ; VALENTINA; FRANCO, 2007).

Nesse aspecto, Passuello (2007) ressalta que a aplicação da Análise do Ciclo de Vida resulta em ganho econômico e ambiental, e apresenta essa ferramenta como uma alternativa viável para a minoração de problemas de fim de tubo, como a falta de preocupação com o uso eficiente de matérias-primas, água e energia; para a redução de resíduos associados ao produto desde a sua concepção até a disposição final; e para o aumento da eficiência de produtos e processos, através da identificação e controle dos fluxos de entrada e saída de recursos, energia e emissões.

2.3.2 Normas que definem as diretrizes para o desenvolvimento do estudo de Análise do Ciclo de Vida

O estudo da ACV deve ser conduzido a partir de uma normatização específica para esse fim, elaborada a partir de 2001, pela *International Organization for Standardization* (ISO), ou Organização Internacional de Normalização, com o objetivo de estabelecer conceitos e padronizar diretrizes de gestão ambiental voltadas para empresas que utilizam recursos naturais em seus processos ou que podem, através de suas atividades, causar prejuízos ambientais. Essas normas dão credibilidade aos resultados obtidos na Análise do Ciclo de Vida.

O conjunto de normas que trata da ACV é constituído pela série ISO 14040, elaborada pelo Subcomitê 05 (SC/05) de Avaliação do Ciclo de Vida, criado em 1993, pelo Comitê Técnico 207 (CT/207) da ISO, responsável por estabelecer ferramentas e sistemas de gestão ambiental. Essas normas fazem parte da família ISO 14000 de gerenciamento ambiental, que atestam a responsabilidade ambiental no desenvolvimento das atividades de uma organização (LEMOS, 2006).

Conforme destaca Chehebe (2002), as normas ISO de gestão ambiental e de Análise do Ciclo de Vida, tem por finalidade fornecer às empresas subsídios que auxiliem na tomada de decisões, alternativas para melhoria do produto e do processo, e fundamentação para a declaração de rótulos ambientais ou seleção de indicadores ambientais.

Em 2009, a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, representada pelo Comitê Brasileiro de Gestão Ambiental (CB-38), publicou as versões nacionais equivalentes as ISO 14040 e 14044 de 2006. Em decorrência disso, as certificações ISO 14041, 14042 e 14043 foram substituídas pela ISO 14044:2009, conforme mostra o Quadro 1.

Quadro 1: Normas ISO que direcionam o desenvolvimento da ACV

Norma	Ano	Título	Objetivo
ISO 14040	2006	Gestão Ambiental - Avaliação do ciclo de vida: Princípios e estruturas.	Descrever a estrutura, princípios e requisitos para conduzir e relatar estudos de ACV.
ISO 14041 Substituída pela ISO 14044:2006	1998	Avaliação do ciclo de vida: Definição de objetivo e escopo, e análise de inventário.	Detalhar os requisitos para a definição do objetivo e escopo de um estudo de Análise do Ciclo de Vida e descrever as etapas da Análise de Inventário.
ISO 14042 Substituída pela ISO 14044:2006	2000	Gestão Ambiental - Avaliação do ciclo de vida: Avaliação de impacto do ciclo de vida.	Propor diretrizes para executar a Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida, identificado na etapa de análise de inventário.
ISO 14043 Substituída pela ISO 14044:2006	2000	Avaliação do ciclo de vida: Interpretação do ciclo de vida.	Especificar requisitos e estabelecer recomendações para a interpretação dos resultados da Análise de Inventário ou Avaliação de Impacto.
ISO 14044	2006	Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida: Requisitos e diretrizes.	Especificar os requisitos e fornecer orientações para a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) e estudos de Inventário do Ciclo de Vida (ICV).
ISO TR 14047	2012	Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Exemplos ilustrativos de como aplicar a ISO 14044 para situações de avaliação de impacto.	Fornecer exemplos para ilustrar a prática corrente de avaliação de impacto do ciclo de vida, de acordo com a ISO 14044.
ISO TS 14048	2002	Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - formato de documentação de dados.	Estabelecer os requisitos e a estrutura para o formato de registro e documentação dos dados na Análise do Ciclo de Vida.
ISO TR 14049	2000	Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - exemplos ilustrativos de como aplicar ISO 14044 para definição de objetivo e escopo e análise de inventário.	Fornecer exemplos de aplicação da norma ISO 14044 e sobre as práticas na realização de um inventário do ciclo de vida.

Fonte: Adaptado de BARBIERI e CAJAZEIRA, 2009.

Ainda referente à normatização da ACV, tem-se a ISO TR 14050:2004 que estabelece conceitos e definições dos termos empregados na série de normas relativas à gestão ambiental, e a ISO TR 14062:2002 que descreve as exigências e diretrizes para a integração dos aspectos ambientais no desenvolvimento de produtos e serviços.

2.3.3 Evolução histórica da Análise do Ciclo de Vida

A Análise do Ciclo de Vida surgiu com a necessidade imperativa de técnicas, abordagens e metodologias que identificassem mais facilmente os impactos ambientais gerados pelas atividades desenvolvidas pela indústria ao longo de toda a cadeia produtiva. Nesse contexto, Yokote (2003) destaca a necessidade de se pensar não apenas na manufatura do produto, mas em todo o seu ciclo de vida: na extração dos recursos naturais, no beneficiamento, na transformação, na reciclagem após o produto perder sua função, e no seu retorno à natureza como rejeito, fechando o ciclo do berço ao túmulo.

Nota-se então, que a técnica da ACV só se tornou evidente a partir da mudança de enfoque, quando as atenções destinadas ao processo se voltaram para a performance ambiental do produto. Isso ocorreu em função da busca, cada vez maior, em atender a demanda por novos produtos, da crescente preocupação com o esgotamento dos recursos naturais e do maior comprometimento das empresas com o meio ambiente.

Diante disso, a história da Análise do Ciclo de Vida tem seu início na década de 60 e foi marcada pelo primeiro estudo de ACV, realizado por Harold Smith e apresentado na *World Energy Conference*, em 1963. Esse estudo resumia-se ao cálculo de consumo energético envolvido na produção de produtos químicos e incluía estimativas limitadas de emissões para o ambiente (CURRAN, 1996 *apud* PASSUELLO, 2007).

Em 1965, o *Midwest Research Institute*, desenvolveu o que ficou conhecido como a primeira Análise de Inventário de Ciclo de Vida, posteriormente denominada *Resource and Environmental Profile Analysis* (REPA) ou Análises de Recurso e Perfil Ambiental. A pedido da *Coca-Cola Company* foram analisados diferentes tipos de embalagens de refrigerante com o intuito de quantificar o uso de matérias-primas e energia, as emissões e impactos ambientais envolvidas no processo produtivo das embalagens de refrigerantes. Na Europa, foi desenvolvido o *Ecobalance*, um estudo semelhante que segue a linha da REPA (CHEHEBE, 2002).

Nos anos 70, a crise do petróleo aponta para a busca de fontes de energia alternativas e melhor utilização dos recursos naturais, e para a necessidade de estudos voltados para a avaliação de consumo de energia. Conforme afirma Chehebe (2002), em meados dessa década, nomes como o de *Franklin Associates* e *Batelle*, nos Estados Unidos, *Ian Boustead*, na Inglaterra, e *Gustav Sundstrom*, na Suécia, se destacaram por contribuírem para o desenvolvimento da Análise do Ciclo de Vida, e pela implantação de bancos de dados de grande abrangência sobre a ACV.

Em 1979, foi criada na América do Norte, a Sociedade de Toxicologia e Química Ambiental, do inglês, *Society for Environmental Toxicology and Chemistry* (SETAC), uma organização não governamental que estabelece as diretrizes para os estudos de ACV, garantindo o desenvolvimento de metodologias para o aperfeiçoamento da técnica. Essa ONG assume o compromisso de equilibrar os interesses científicos da academia, governo e negócios em relação às questões ambientais (BARBIERI; CAJAZEIRA, 2009).

Na Europa, em meados dos anos 80, a ACV passa a ser utilizada como um instrumento de colaboração na regulamentação pública ambiental. Já na década de 90, a evolução histórica da ACV teve seu impulso marcado pelo desenvolvimento de diversas análises do ciclo de vida em materiais de embalagens, em especial as embalagens de leite. A utilização de metodologias diferentes, as frequentes discrepâncias nos resultados desses estudos demonstram a necessidade urgente de padronização, definição de critérios, transparência e ética na aplicação da ACV (CHEHEBE, 2002).

Em 1991, como relata Chehebe (2002), foram desenvolvidos os primeiros *softwares* para o estudo de REPA, o *Ökobase I e II*, apresentando um sistema de avaliação que considera padrões de referências para a saúde humana e dados sobre os impactos ambientais. Em 1992, algumas empresas criaram a Sociedade para a Promoção do Desenvolvimento da ACV, que desenvolveu guias com orientações sobre o uso dessa ferramenta (BARBIERI, 2004).

O Conselho Nórdico de Ministros ou *Nordic Councils of Ministers* iniciou em 1991, um projeto denominado *LCA – Nordic*, com o propósito de estabelecer um código de práticas direcionado às indústrias e usuários da metodologia ACV. Na primeira parte do projeto foi realizado um estudo prévio que resultou na elaboração e publicação, em 1992, do *Product Life Cycle Assessment: principles and methodology*, que trata sobre os princípios e métodos envolvidos em um estudo de Análise do Ciclo de Vida de produtos, serviços ou atividades. A segunda e última parte, resultou no lançamento em 1995, do *Nordic Guidelines on Life-Cycle Assessment*, um guia que estabelece as diretrizes nórdicas em Avaliação do Ciclo de Vida. Tal guia traz grandes contribuições para o estudo, desenvolvimento e disseminação da ACV, uma vez que trata de questões-chave como estrutura e procedimentos da ACV, análise de inventário e outras abordagens. O guia foi desenvolvido por um grupo de pesquisa constituído por Lars-Gunnar Lindfors, Tomas Ekvall e Göran Finnveden, da Suécia; Kim Christiansen e Leif Hoffman, da Dinamarca; Yrjö Virtanen e Vesa Juntilla, da Finlândia; e Ole-Jorgen Hanssen e Anne Ronning, da Noruega (NORD, 1995).

Nesse mesmo período, com o aumento da produção de lixo doméstico, da disposição de embalagens e desperdício de alimentos, as empresas foram obrigadas a avaliar o consumo de recursos naturais e geração de resíduos. A ACV se destaca como uma técnica de análise de problemas ambientais, mas os estudos realizados apresentam resultados discordantes em função de diferentes bases de dados e da falta de padronização da técnica (PRADO; KASKANTZIS NETO, 2005).

De acordo com Chehebe (2002), foi a SETAC que deu início ao processo de sistematização e padronização internacional dos termos e critérios relacionados à ACV. Em 1993, com o mesmo objetivo e baseado nas publicações da SETAC, a ISO criou o Comitê Técnico 207 (CT/207) para definir os preceitos e direcionamentos da gestão ambiental que foram compilados na série de normas ISO 14000, incluindo as normas da Avaliação do Ciclo de Vida.

Em 1997, foi elaborada a ISO 14040, que estabelece os princípios e os requisitos para a concretização dos estudos de ACV. A partir disso foi publicada a série ISO 14044 que trata única e exclusivamente da ACV e detalha as fases, os requisitos e orientações para a aplicação dessa técnica (SANTIAGO, 2012).

Outra iniciativa marcante para o desenvolvimento da ACV, conforme escreve Barbieri e Cajazeira (2009), foi a parceria firmada em 2002, entre a SETAC e o Programa das Nações Unidas para o meio ambiente (PNUMA), dando origem ao *Life-Cycle Initiative*, com o objetivo de desenvolver e disseminar ferramentas para a avaliação do ciclo de vida de sistemas de produtos.

Em países como Suíça, Estados Unidos da América, Japão e Alemanha, os dados de Inventários de Ciclo de Vida (ICV) são armazenados em bancos de dados sistematizados, que oferecem suporte para a realização de estudos de ACV e de avaliação do impacto ambiental associado a um produto ou processo (SANTOS *et al*, 2010).

A Análise do Ciclo de Vida é uma técnica cada vez mais avaliada e discutida, em função do papel que desempenha na busca da sustentabilidade. Cresce a cada dia o interesse dos diversos segmentos (empresas, governo e academia) na empregabilidade dessa ferramenta de gerenciamento ambiental, visando os benefícios e contribuições oferecidas por ela. Isso pode ser observado pela realização constante de eventos nacionais e internacionais, a cerca do

assunto, com o propósito de discutir, desenvolver, ampliar e difundir os conhecimentos sobre a ACV.

2.3.4 A Análise do Ciclo de Vida no Brasil

Em função das necessidades, particularidades e características ambientais de cada região surgem modelos diferenciados para a realização de estudos de ACV. No Brasil, essa técnica encontra-se em desenvolvimento. É uma ferramenta em fase de estudo e tímida aplicação, mas de grande interesse para as empresas e organizações ambientais e governamentais. As universidades desenvolvem estudos de ACV por meio de dissertações de mestrado e teses de doutorado, contribuindo para um melhor conhecimento e acesso a técnica.

Diversas ações e discussões estão sendo adotadas para esclarecer e divulgar a ACV, seus princípios e vantagens. São iniciativas como a criação de instituições, grupos de estudos e eventos em prol do desenvolvimento da ACV. Em 2001, a Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT, publicou a tradução da ISO 14040:1997, revista e reformulada pela Comissão de Estudo de Avaliação do Ciclo de Vida, em 2006 e publicada em 2009 (BARBOSA JÚNIOR *et al*, 2008).

No ano de 2002, como indica Zoldan (2008), foi criada a Associação Brasileira de Ciclo de Vida – ABCV, com o intuito de atuar junto às empresas, instituições acadêmicas de ensino e pesquisa, órgãos governamentais e sociedade organizada, viabilizando a difusão e a consolidação da Gestão do Ciclo de Vida e a qualificação de pessoal para aplicação da ACV. No ano seguinte, o Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia- IBICT desenvolveu um site sobre a Análise do Ciclo de Vida. O IBICT assumiu, em 2007, o Projeto Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), que tem por objetivo, viabilizar o Inventário do Ciclo de Vida no Brasil, uma das etapas da ACV que considera as entradas e saídas de sistemas produtivos (LIMA, 2007).

Conforme o IBICT, o Brasil ainda não possui uma estrutura para o armazenamento e disponibilização de dados do Inventário do Ciclo de Vida (ICV), por essa razão, se fundamenta em dados e experiências de outros países. O *Ecoinvent*, da Suíça, e o *SPINE*, da Suécia, são bancos de dados utilizados para obtenção de informações a cerca de consumos e emissões associados ao produto. Esses dados nem sempre são condizentes com a realidade brasileira (SANTIAGO, 2012).

Outra iniciativa significativa ocorreu em 2007, na América Latina. A ABCV realizou a Conferência Internacional sobre Avaliação do Ciclo de Vida, CILCA 2007, com o intuito de

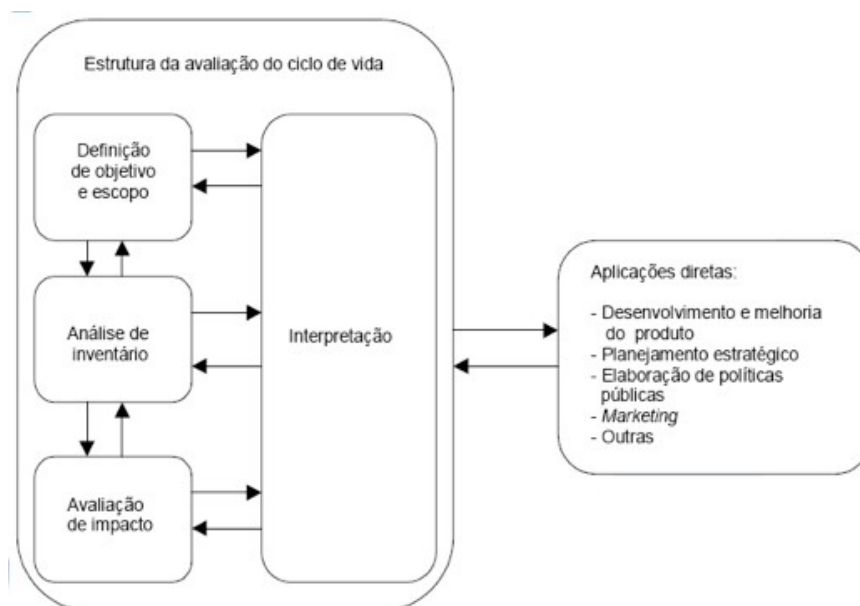
consolidar o uso da ACV e da Gestão pelo Ciclo de Vida (*Life Cycle Management*) através da troca de experiências e de conhecimentos entre profissionais das áreas de ensino e pesquisa, e das áreas industriais e governamentais.

Com isso, a ACV vem se mostrando, ao longo dos anos, uma ferramenta útil para a melhoria de toda a cadeia produtiva, mesmo assim, no Brasil, se apresenta como uma técnica pouco utilizada nas empresas. Isso ocorre devido à falta de um banco de dados, obtidos a partir do contexto nacional sobre os impactos ambientais; à escassez de recursos financeiros para serem aplicados no estudo de ACV; e à carência de incentivos governamentais para o desenvolvimento de uma metodologia adequada a realidade do País (BARBOSA JÚNIOR *et al*, 2008).

2.3.5 Estrutura metodológica da Análise de Ciclo de Vida

A Análise do Ciclo de Vida do produto, como regulamenta e especifica a ABNT NBR ISO 14040:2009, compreende quatro fases distintas, que se completam e estabelecem a metodologia de execução da ACV. São elas: definição do objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impactos e interpretação dos resultados. Essas fases estão representadas na Figura 3, que mostra a estrutura da Avaliação do Ciclo de Vida e suas aplicações diretas.

Figura 3: Fases de uma ACV



Fonte: ABNT NBR ISO 14040:2009, p. 8.

Analisando o contexto, Chehebe (2002) resume as quatro fases da ACV, estabelecendo que: a definição do Objetivo e escopo abrange o propósito do estudo, seus limites, a unidade

funcional e a determinação dos requisitos de qualidade; a Análise do Inventário é constituída pelo fluxo de entrada e saída de materiais e emissões, e pela coleta de dados que deve considerar a aquisição de matérias-primas e energia, manufatura e transporte; a avaliação de impacto envolve a classificação e caracterização dos impactos ambientais na saúde humana, na saúde ambiental e na exaustão dos recursos naturais; e, a interpretação consiste na identificação dos problemas e pontos críticos, na avaliação da magnitude e significado dos impactos ambientais, na análise de sensibilidade, e nas conclusões do estudo.

As etapas de desenvolvimento da Análise do Ciclo de Vida serão detalhadas a seguir, com base nos princípios e diretrizes da ABNT NBR ISO 14040:2009 e ABNT NBR ISO 14044:2009.

2.3.5.1 Definição do objetivo e escopo

A primeira fase da ACV é destinada ao planejamento da Análise do Ciclo de Vida. A definição do objetivo e escopo constitui a etapa mais importante do estudo de ACV, uma vez que norteia todas as outras. Essa fase inclui: definição de objetivos; definição do produto e suas alternativas; deliberação dos limites do sistema a ser considerado; seleção das categorias ambientais; determinação do método de avaliação; e escolha da estratégia para coleta de dados.

O objetivo deve ser claro e determinado de acordo com a aplicação pretendida, as razões da condução do estudo e o público-alvo para quem se almeja comunicar os resultados. Já a definição do escopo deve delimitar:

- o sistema do produto, entendido como o conjunto de unidades de processo interligadas material e energeticamente, que realiza uma ou mais funções;
- as funções do sistema de produto, selecionadas em função do objetivo e escopo previamente determinados;
- a unidade funcional, que é a medida de desempenho de um sistema de produto ou serviço, para ser utilizado como unidade de referência relacionada às entradas e saídas do sistema de produto, com o objetivo de assegurar a comparabilidade de resultados no estudo de ACV;
- as fronteiras do sistema de produto ou serviço que determinam, de acordo com a aplicação pretendida, as unidades do processo que devem ser incluídas na ACV e são

definidas como a interface entre o sistema de produto e o meio ambiente ou outros sistemas de produtos;

- os procedimentos de alocação, ou seja, a determinação de metodologias de repartição dos fluxos de entrada ou de saída de uma unidade de processo no sistema de produto em questão;

- a classificação, metodologia de avaliação e interpretação de impacto a ser utilizada;

- os requisitos da qualidade dos dados que são definidos para garantir que os objetivos sejam alcançados, devendo envolver o período de tempo, a área geográfica e as tecnologias cobertas; a precisão e representatividade dos dados; a consistência e reprodutibilidade dos métodos utilizados; a fonte dos dados e a incerteza da informação;

- as suposições;

- as limitações;

- os tipos de análise crítica, cuja finalidade é verificar se a ACV foi executada de acordo com a norma; e,

- o tipo e formato do relatório solicitado para o estudo de ACV.

2.3.5.2 Análise do Inventário do Ciclo de Vida (ICV)

A Análise de Inventário do Ciclo de Vida ou Inventário do Ciclo de Vida (ICV) é a segunda fase da ACV e se constitui em um inventário dos dados de entrada e saída associados a um produto. Essa etapa do estudo envolve a preparação, coleta, validação e tratamento dos dados, e são estabelecidos os procedimentos de cálculos para quantificar as entradas e saídas relacionadas ao sistema de produto. As entradas se referem aos recursos utilizados e as saídas se vinculam as emissões no ar, na água e no solo, integrados ao sistema do produto (ABNT NBR ISO 14040:2009).

Ainda de acordo com os princípios da norma ISO, os dados qualitativos e quantitativos selecionados para o inventário devem ser coletados para cada processo elementar incluído na fronteira do sistema, e devem estar relacionados ao fluxo de referência pré-estabelecido. Esses dados podem ser utilizados para a avaliação de impacto do ciclo de vida e são coletados através de medições, entrevistas, revisão da literatura, cálculos teóricos e pesquisa em bancos de dados.

No procedimento de coleta de dados, a validação será efetivada por meio de balanço de massa, balanços de energia e análises comparativas de emissões, uma vez que todo processo elementar obedece à Lei da conservação das massas (ou energia) e à lei de Lavoisier. A primeira determina que tudo que sai é igual a tudo o que entra no sistema, e a outra estabelece que “na natureza nada se perde, nada se cria, tudo se transforma”.

De acordo com Zoldan (2008), os dados coletados são organizados e interpretados mediante a utilização de softwares comerciais específicos para a avaliação de impactos. Dentre eles estão o SimaPro, o GaBi, o Team, o Umberto, o LCA it e o Gemis. A escolha do software se dá em função das características de cada um, adequadas ao objetivo e aplicação do estudo de ACV.

O Inventário do Ciclo de Vida é o alicerce do estudo da Análise do Ciclo de Vida, pois representa o registro de todos os *inputs* e *outputs* dos processos de manufatura, distribuição, consumo e disposição final do produto. É a sistematização das entradas e saídas de todos os processos envolvidos no ciclo de vida do produto. A elaboração do inventário leva ao conhecimento detalhado do processo produtivo envolvido no estudo de ACV.

2.3.5.3 Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV)

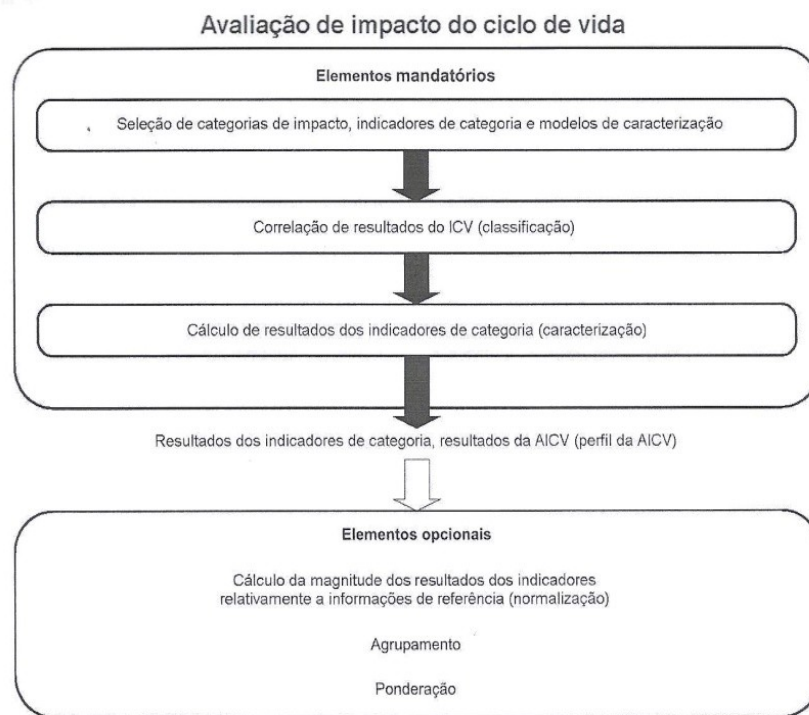
A terceira fase da ACV, de acordo com a NBR ISO 14040:2009, é a avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV), destinada a avaliação dos impactos potenciais com base nos resultados da análise de inventário do ciclo de vida, objetivando uma melhor compreensão da significância ambiental do sistema de produto. Essa avaliação acontece através da seleção e definição das categorias de impacto, da classificação dos dados em função das categorias selecionadas e da caracterização dos dados de inventário dentro dessas categorias.

Os impactos avaliados e os métodos empregados na execução da análise de inventário do ciclo de vida são selecionados em função do objetivo e escopo da ACV e, podem estar relacionados a problemas ambientais como: esgotamento dos recursos naturais, a contaminação dos recursos hídricos e do solo, aquecimento global, poluição atmosférica, redução do efeito estufa, toxicidade, ecotoxicidade, acidificação, dentre outros (ZOLDAN, 2008).

A avaliação de impacto do ciclo de vida está diretamente relacionada à unidade funcional previamente definida e inclui elementos obrigatórios e elementos opcionais. Os obrigatórios englobam a seleção de categorias de impacto, os indicadores de categoria e modelos de caracterização; a correlação dos resultados do inventário do ciclo de vida com as categorias de impacto escolhidas; e o cálculo dos resultados dos indicadores de categoria.

Dentre os elementos opcionais destacam-se a normalização, o agrupamento, a ponderação e a análise da qualidade dos dados (NBR ISO 14044:2009). A Figura 4 apresenta os elementos mandatórios e opcionais da Análise do Inventário do Ciclo de Vida do produto.

Figura 4: Elementos da AICV



Fonte: ABNT NBR ISO 14040:2009, p. 16.

A normalização é o cálculo da extensão dos resultados dos indicadores de categoria, relacionados a informações de referência; o agrupamento é a agregação e hierarquização das categorias de impacto; a ponderação é a conversão e associação dos resultados dos indicadores entre as diferentes categorias, utilizando fatores numéricos; e a análise da qualidade dos dados traduz a confiabilidade dos resultados desses indicadores.

Para garantir um melhor entendimento da significância, incerteza e sensibilidade dos resultados da AICV, pode-se optar por realizar uma análise adicional da qualidade dos dados.

Dependendo dos resultados, pode-se recomendar uma revisão nos procedimentos desenvolvidos na fase do inventário do ciclo de vida.

Segundo Santiago (2012), a realização da avaliação do impacto do ciclo de vida envolve certa subjetividade, tanto na avaliação de impacto do ciclo de vida, quanto na seleção e modelagem das categorias de impacto, podendo, se mal conduzida, comprometer os resultados do estudo.

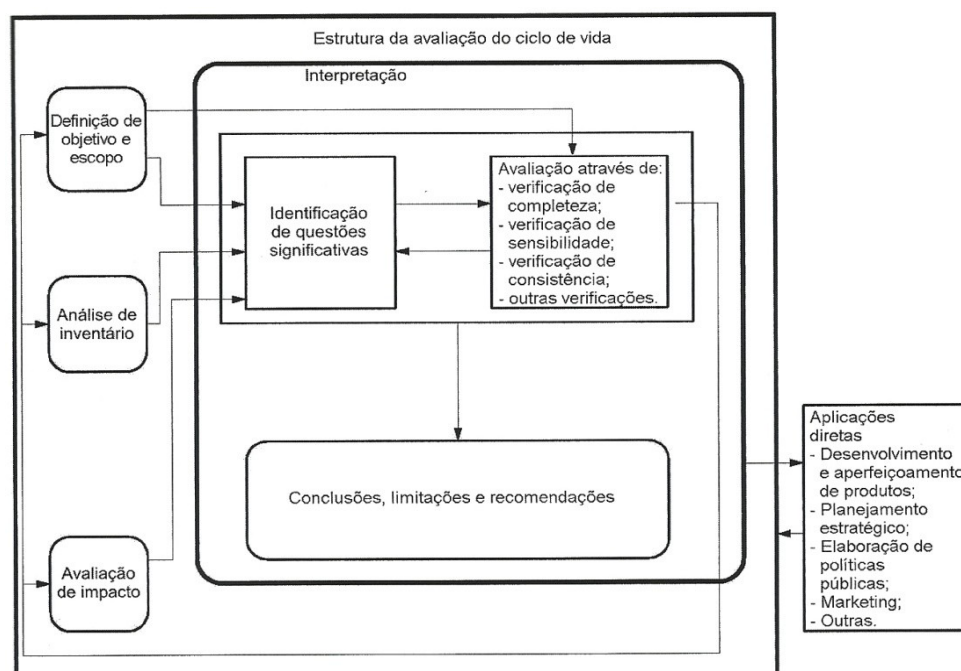
2.3.5.4 Interpretação do ciclo de vida

A interpretação do ciclo de vida constitui a quarta e última fase do estudo de ACV e tem o foco na melhoria da Análise do Ciclo de Vida. É apresentada na forma de conclusões e recomendações resultantes da interação dos resultados da análise de inventário e da avaliação de impacto, combinados com o objetivo e escopo (NBR ISO 14040:2009).

Para Yokote (2003), a fase de interpretação abrange três elementos fundamentais: (1) a identificação dos pontos significantes a partir do resultado do inventário e da avaliação de impacto; (2) a avaliação, desenvolvida através da análise de completudeza, de sensibilidade e de consistência; e (3) as conclusões, recomendações e relatórios.

Os resultados expressos nessa fase devem estar direcionados para a redução dos impactos ambientais gerados pelo sistema do produto. A Figura 5 mostra a relação dos elementos da fase de interpretação com as outras fases do estudo de Análise do Ciclo de Vida.

Figura 5: Interpretação do ciclo de vida e as outras fases da ACV



Fonte: ABNT NBR ISO 14044:2009, p. 24.

Em decorrência das constatações da interpretação do ciclo de vida, pode-se sugerir a análise crítica ou mudança de objetivo e escopo para validar o estudo da ACV. A análise crítica deve assegurar que a metodologia adotada para a condução da ACV, seja científica e tecnicamente válida e esteja de acordo com a normatização; que o relatório seja transparente; que os dados sejam apropriados, permitindo que o objetivo seja alcançado; e que as interpretações considerem as limitações identificadas ao longo do estudo.

Após a execução de todas as fases da ACV, os resultados obtidos devem ser registrados em um relatório dirigido a parte interessada. Esse relatório requer uma descrição precisa e fiel dos resultados, dados, métodos, suposições e limitações envolvidas no estudo realizado.

2.3.6 Objetivos e aplicações da Análise do Ciclo de Vida

A ACV avalia os aspectos ambientais e impactos potenciais integrados a um produto, através da compilação da análise de inventário e avaliação dos impactos de entradas e saídas de um sistema de produto, e da interpretação dos resultados dessa avaliação, embasados nos objetivos do estudo.

Assim sendo, observa-se que a Análise do Ciclo de Vida pode ser aplicada com os mais diversos objetivos. Ometto (2009) destaca alguns deles:

- A identificação das oportunidades de melhorar os aspectos ambientais e o desenvolvimento do produto para a redução de impactos ambientais, considerando todos os estágios de seu ciclo de vida;
- O fornecimento de subsídios para o planejamento estratégico empresarial, ajudando na tomada de decisões relativa às prioridades, ao desenvolvimento de projetos, de processos e de produtos;
- A seleção de indicadores de desempenho ambiental;
- A atuação no *marketing* do produto, auxiliando na obtenção de selos e certificados de qualidade ambiental, e promovendo o diferencial na competitividade de mercado;
- A comparação do desempenho ambiental de produtos;
- A contribuição para a elaboração de políticas públicas voltadas para o desenvolvimento sustentável;
- A transformação da qualidade ambiental do produto em valor agregado para o consumidor;

- A identificação de transferências dos impactos ambientais de um meio para outro ou de um estágio do ciclo de vida para outro; e,
- A redução de custos e a promoção de maior eficiência econômica.

A ACV possibilita também, a contabilização das emissões de gases de efeito estufa, denominada pegada de carbono, por meio da compilação dos *inputs* e *outputs* ao longo das etapas do ciclo de vida do produto que desencadeiam a emissão desses gases. A quantificação das emissões ambientais para o ar, água ou terra em cada fase do ciclo de vida do produto ou processo, facilita o cálculo e comercialização de créditos de carbono. A venda desses créditos pode proporcionar a redução de custos na manufatura e aumentar a eficiência do processo (ROBLES JR.; BONELLI, 2010).

Existe uma gama muito grande de possibilidades para aplicações da Análise do Ciclo de Vida. A ACV pode ser empregada como uma ferramenta de apoio na implementação de um Sistema de Gestão Ambiental nas empresas, visto que sua estrutura contribui para um melhor entendimento do sistema de produção, facilitando a definição de ações, processos e melhoria de técnicas e recursos com o foco nas questões ambientais (CARREIRAS *et al*, 2008 *apud* ZOLDAN, 2008).

A ferramenta Análise do Ciclo de Vida tem aplicabilidade nas mais diversas áreas e pode atuar no gerenciamento de recursos naturais, identificação de pontos críticos e otimização de sistemas de produtos. No setor privado a ACV pode ser utilizada com o intuito de identificar processos e materiais que mais contribuem para os impactos ambientais; comparar produtos e processos a fim de minimizar esses impactos; e conceber e desenvolver produtos eco eficientes. No setor público pode auxiliar na definição de leis e políticas públicas para resguardar a conservação dos recursos naturais e a redução de impactos ambientais; fornecer informação para o público sobre as características dos recursos de produtos e materiais; estabelecer fundamentos necessários para a elaboração de políticas de regulamentação para a restrição no uso de matérias-primas; e avaliar e diferenciar produtos para programas de certificação ambiental (NORD, 1995).

No Brasil, a utilização da ACV ainda é muito tímida e limitada, principalmente nas empresas. Estudos mostram que essa técnica tem sido aplicada em alguns setores industriais como agroindústria, construção civil, embalagens, energético, químico e outros. Esses estudos utilizam a técnica, para analisar os impactos ambientais gerados na produção, distribuição, consumo e descarte de produtos; ou para avaliar o consumo energético e definir em que etapas

do ciclo de vida eles são mais expressivos; ou ainda, para comparar o desempenho ambiental de produtos com a mesma função. Outra aplicação é na identificação de oportunidades que possibilitem melhorias do desempenho ambiental e promovam mudanças tecnológicas no produto e no processo, incluindo a otimização do uso de recursos e energia através da inclusão de processos de reciclagem e reuso (BARBOSA JÚNIOR *et al*, 2008).

Barboza (2001) defende outro emprego para a ACV: a rotulagem ambiental. Rótulo ambiental é a certificação de produtos adequados ao uso e que apresentam menor impacto no meio ambiente, em relação a outros produtos similares disponíveis no mercado. Diferentemente da certificação, o rótulo é um instrumento de comunicação voltado para os consumidores, que trata dos aspectos ambientais do produto, com o intuito de diferenciá-lo dos demais.

A rotulagem ambiental certifica, através de selos e certificados, produtos que comprovem qualidade ambiental, buscando a compreensão e conscientização dos aspectos ambientais de um produto, com o objetivo de influenciar na escolha do consumidor ou na conduta do fabricante.

Os rótulos ambientais são classificados, de acordo com a ISO, em três tipos de selos:

- Tipo I – São os selos verdes, concedidos aos produtos com preferência ambiental devido ao seu ciclo de vida total e comparam tais produtos com outros da mesma categoria (NBR ISO 14024:2004);
- Tipo II – São as auto-declarações ambientais feitas pelos fabricantes importadores ou distribuidores (NBR ISO 14021:2004); e,
- Tipo III – São aqueles que fornecem dados ambientais quantificados por meio do estudo de ACV e permitem que o consumidor avalie o produto a partir de elementos que indicam o nível de impacto ambiental desses produtos (ISO 14025:2006).

A análise do Ciclo de Vida, através da rotulagem ambiental ou da declaração de qualidade ambiental, tem por objetivo promover o produto e instigar a empresa a gerenciar seus processos produtivos.

No Brasil, a implantação do programa de rotulagem ambiental é coordenada pela ABNT e segue os critérios da norma ISO 14000. Este selo tem o intuito de informar o consumidor sobre os produtos disponíveis no mercado que menos agredem o meio ambiente, e incentivar o desenvolvimento desses produtos (BARBOZA, 2001).

Como se pode observar, muitos são os objetivos e aplicações da ACV, tornando-a uma ferramenta importante de gestão ambiental para reduzir os efeitos ecológicos negativos e garantir a sustentabilidade no segmento industrial. Países como a França, Japão, Noruega, Suécia, Alemanha e Estados Unidos da América, são referências na aplicação de estudos de ACV e contribuem internacionalmente, com seus bancos de dados bem estruturados, o desenvolvimento de *softwares* que auxiliam nos estudos de ACV, e seus modelos de políticas públicas fundamentadas na Análise do Ciclo de Vida.

2.3.7 Limitações da Análise do Ciclo de Vida

A ACV de um produto, processo ou atividade é uma avaliação sistemática que quantifica os fluxos de energia e de materiais no ciclo de vida do produto. É uma técnica de análise empregada para identificar e avaliar o impacto ambiental de bens e serviços. Ao se fazer uma Análise do Ciclo de Vida, deve-se atentar para o real objetivo do estudo, pois em algumas circunstâncias e situações, a ACV pode não ser a metodologia mais indicada.

Como toda técnica, a ACV tem suas limitações e entraves. A norma NBR ISO 14040:2009 destaca algumas delas: a ACV não contempla as questões econômicas e sociais associadas a um produto; a subjetividade presente na natureza das escolhas e suposições estabelecidas para o estudo; a grande abrangência do estudo, que pretende analisar os fluxos de entrada e saída de material e energia em todos os estágios do ciclo de vida do produto; a acessibilidade, disponibilidade e qualidade dos dados, que em suas limitações podem comprometer os resultados do estudo.

Para as empresas brasileiras, a grande dificuldade está em contar com profissionais qualificados e um banco de dados com informações pertinentes para a implementação e aplicação da ACV. Outro obstáculo para o desenvolvimento dessa ferramenta é a adequação do estudo ao contexto em que vai ser aplicada, pois nem sempre, os resultados de estudos de ACV baseados em questões globais podem ser aproveitados para a realidade local (BARBOSA JÚNIOR, 2008).

Diante da complexidade da técnica de Análise do Ciclo de Vida, é importante, antes de qualquer coisa, avaliar a relação custo-benefício do estudo a ser desenvolvido para atingir o objetivo estabelecido.

2.4 O Produto: Aparelhos de ar-condicionado de janela

2.4.1 Conceito de ar-condicionado

O aparelho de ar-condicionado é um dos produtos de maior consumo no Brasil por se tratar de um País tropical com temperaturas elevadas em diversas regiões, principalmente na Região Norte. É incluído na classe dos eletroeletrônicos ou dos bens de consumo da linha branca (eletrodomésticos). Como todo produto, o aparelho de ar-condicionado é também responsável por impactos ambientais ao longo do seu ciclo de vida.

Ar-condicionado (AC) ou condicionador de ar é um equipamento que produz calor sensível, positivo ou negativo, com o objetivo de conservar a qualidade do ar no ambiente, mantendo a temperatura e a umidade dentro de limites aceitáveis, segundo determinadas especificações e normas. O objetivo do aparelho de ar-condicionado é extrair o calor de uma fonte quente, distribuindo-o para uma fonte fria. Isso se torna possível através da troca de calor sensível com o fluido em circulação, devolvendo o calor ao ambiente para aumentar ou diminuir a temperatura (PEREIRA, 2007).

Em seu Guia de Aquisição e Instalação de Condicionadores de Ar, a Associação Sul Brasileira de Refrigeração, Ar condicionado, Aquecimento e Ventilação (ASBRAV), define ar-condicionado como o aparelho ou sistema que promove o condicionamento do Ar, interferindo simultaneamente em elementos como a pureza, umidade, temperatura, movimentação do ar, e nível sonoro, em um espaço previamente delimitado, a fim de proporcionar um ambiente nas condições de conforto e bem-estar almejadas para o ser humano (ASBRAV, 2012).

Segundo Menezes (2005), o condicionamento de ar consiste em regular a [qualidade do ar interior](#), no que se refere às condições de [temperatura](#), [umidade](#), pureza e [movimento](#) do ar, incluindo em seu sistema as funções de [aquecimento](#), [arrefecimento](#), [umidificação](#), renovação, [filtragem](#) e [ventilação](#) do ar. O ar tratado é denominado ar condicionado. Por extensão, os aparelhos usados para o condicionamento de ar são chamados ares-condicionados ou condicionadores de ar.

2.4.2 Breve história do aparelho de ar-condicionado

Muitas tentativas de se produzir sistemas de refrigeração contribuíram para a evolução histórica do condicionamento de ar e invenção do aparelho de ar-condicionado. O conceito de condicionamento de ar já era aplicado em tempos longínquos e das mais variadas maneiras.

Na [Roma](#) antiga a [água](#) de canais subterrâneos era levada a circular através das paredes das [casas](#) para fazer diminuir a intensidade de calor. O gelo, extraído de rios e lagos, foi largamente utilizado com a mesma finalidade e com o propósito de conservar os

alimentos. Esse gelo era transportado em caixas cobertas de serragem ou palha para conservá-lo a baixas temperaturas, retardando o seu derretimento. Desde muito tempo se utiliza as bilhas de água, que são os potes feitos de barro para conservar a água fresca, através da evaporação da água que transpira do material poroso, absorve o calor do recipiente e esfria a água do interior da bilha. Sem esquecer dos esguichos de água para refrescar pessoas e ambientes a partir de fontes naturais ou não, e a construção de diferentes tipos de ventiladores giratórios, acionados pela água ou operados manualmente (CHAVES, 2009).

Ao longo desses anos muitos experimentos foram realizados na tentativa de construir equipamentos ou sistemas de resfriamento de ambientes ou objetos. Dentre eles destacam-se: a experiência baseada no princípio da evaporação de líquidos voláteis, como o álcool e o éter, com o propósito de diminuir rapidamente a temperatura de um objeto, realizada por Benjamin Franklin e John Hadley, em 1785; a descoberta do físico britânico Michael Faraday, em 1824, de que a evaporação da amônia comprimida e liquefeita possuía a capacidade de resfriar o ar; e, a utilização de um [compressor](#) para criar uma máquina de fazer gelo e regular a temperatura dentro do hospital, feita pelo médico norte-americano [John Gorrie](#), em 1851 (ALBERICO, 2003 *apud* GONÇALVES, 2005).

A invenção do aparelho de ar-condicionado moderno, em 1902, se deu a partir de experimentos com o condicionamento de ar para resolver o problema de uma gráfica que apresentava, nos dias úmidos, cores impressas no papel que não se alinhavam nem se fixavam como as cores impressas em dias mais secos, gerando distorções nas imagens. Diante disso, o engenheiro mecânico Willis Carrier idealizou um equipamento para retirar a umidade da gráfica através do resfriamento do ar. Assim, projetou e construiu o primeiro aparelho de ar-condicionado destinado a controlar a temperatura e a umidade do ar, melhorando o processo de produção da gráfica. O funcionamento desse equipamento é baseado no aquecimento de objetos com [vapor](#). Carrier reverteu o processo e ao invés de enviar ar por meio de serpentinas quentes, enviou-o através de serpentinas cheias com água fria. O ar, soprado através dessas serpentinas era arrefecido e podia-se controlar a quantidade de umidade nele contida. Por outro lado, o sistema permitia também o controle da umidade do ambiente. A crescente procura por essa tecnologia levou à criação da empresa *Carrier Air Conditioning Company of America*, uma das maiores fabricantes de equipamentos de ar-[condicionado](#) do Mundo (CARRIER BRASIL, 2012).

A Companhia Carrier iniciou a fabricação de produtos em 1922, após o grande avanço na indústria de refrigeração, marcado pela produção do equipamento refrigerador

centrifugado, o *chiller*. O centrifugado, como era chamado, foi o primeiro modelo prático de aparelho de ar-condicionado para espaços amplos.

No início, conforme menciona Gonçalves (2005), os ares-condicionados empregavam como agentes refrigerantes [gases](#) tóxicos ou inflamáveis como a [amônia](#), o [clorometano](#) e o [propano](#), oferecendo perigo em casos de vazamento. Esses gases foram substituídos pelo gás freon, criado por Thomas Midgley, em [1928](#). O freon, cuja fórmula molecular é CCl_2F_2 , é um gás derivado do metano e altamente inflamável. É responsável pela produção de frio nos congeladores, circulando por todo o circuito do aparelho de ar-condicionado (compressor, válvula de expansão, evaporador, condensador). A baixa altitude é pouco tóxico, mas quando disperso na alta atmosfera se torna um dos principais responsáveis pela destruição da camada de ozônio. O nome “freon” é aplicado a todo e qualquer refrigerante do tipo CFC ou [clorofluorcarboneto](#).

Diante da crescente preocupação com a redução do impacto ambiental, em termos de [mudanças climáticas](#), o freon foi substituído por gases menos agressivos como os hidroclorofluorcarbonetos, HCFCs, e estes substituídos pelos hidrofluorcarbonetos, HFCs. Essas substâncias também constituem gases de efeito estufa e são alvos de discussão, visando a sua substituição por refrigerantes alternativos que minimizem o aquecimento global.

Com o passar do tempo, os condicionadores de ar passaram a ser usados também para o conforto interior em [residências](#) e [automóveis](#), apresentando características especiais desenvolvidas para oferecer maior comodidade. A indústria está sempre buscando uma maior automação e desenvolvimento dos sistemas de condicionamento do ar. Com a evolução tecnológica, o investimento se volta para a utilização de sistemas eletrônicos de ponta para aumentar a eficiência energética do equipamento, melhorar as condições de conforto e a [qualidade do ar interior](#).

2.4.3 Características dos aparelhos de ar-condicionado

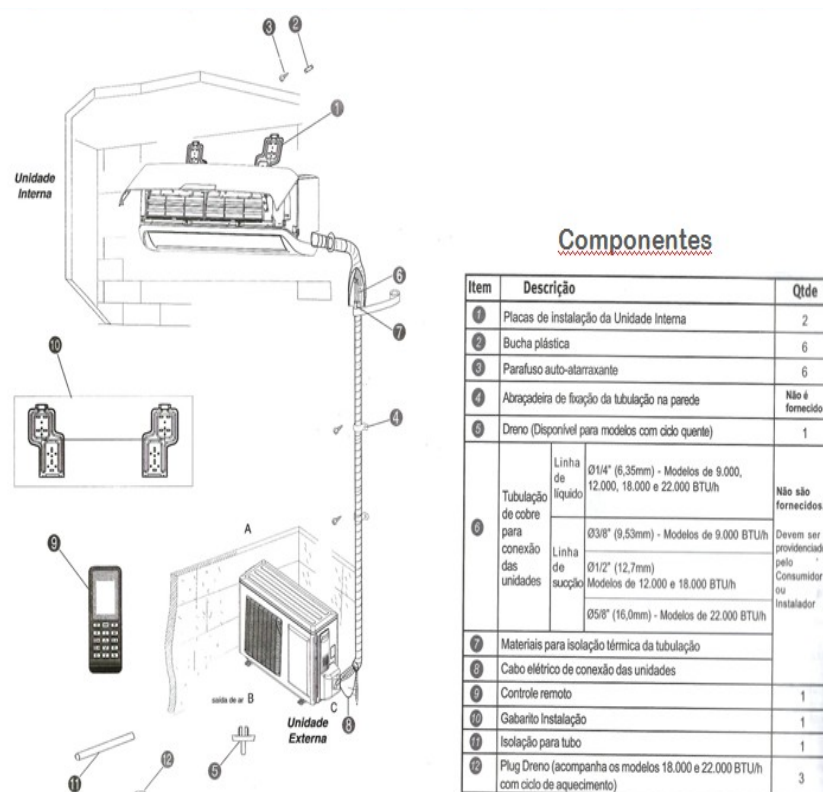
A utilização de aparelhos de ar-condicionado apresenta vantagens e benefícios. Além do conforto oferecido pela sensação térmica agradável, o sistema de condicionamento de ar permite controlar a temperatura, pureza e velocidade do fluxo de ar, através da disposição de processos mecânicos de refrigeração, aquecimento ou ambos, diferenciando o aparelho de ar-condicionado dos sistemas convencionais que oferecem apenas ventilação.

Santos, Souza e Costa (1995, p. 165) destacam as características gerais desse produto: “são intensivos em corte, dobra, furação e tratamento, e pintura, observando-se pouca

complexidade tanto em termos de produto como de processo. No entanto é crescente o uso de microeletrônica em alguns dos produtos, o que traz maior sofisticação tecnológica”. O condicionador de ar tem como componente principal o compressor, onde se concentra o maior grau de tecnologia do produto. É constituído também por metais e plásticos, como o poliuretano para melhorar o design, reduzir custos e tornar o produto mais leve e compacto. Alguns componentes e acessórios, como as válvulas, o pressostato, o ventilador, o termostato, o controle remoto, as sondas, e as placas eletrônicas, completam o sistema de funcionamento dos aparelhos de ar-condicionado.

Os aparelhos de ar-condicionado são utilizados com a finalidade de promover conforto residencial (uso em residências, escritórios, comércios, etc.) ou industrial (uso em indústrias, hospitais, centros de pesquisa, etc.). Podem ser constituídos por uma ou duas unidades. No caso de equipamentos compostos por duas unidades uma é interna e a outra é externa, conectadas entre si através de canos de cobre, conexões de controle e comando elétrico. Ambas necessitam de um dreno para escoar a água formada na condensação. A Figura 6 detalha os componentes de um sistema de ar-condicionado do tipo *split*, que apresenta essa característica.

Figura 6: Sistema de ar-condicionado com duas unidades



A capacidade de refrigeração dos aparelhos de ar-condicionado é medida em BTU, do inglês, *British Thermal Unit*, ou Unidade Térmica Britânica. É uma unidade de energia que indica a quantidade de energia necessária para elevar em 1 grau fahrenheit, a massa de 1 libra de água. Dimensionar corretamente a capacidade do aparelho de ar-condicionado de acordo com a necessidade do ambiente é essencial para se obter o melhor conforto térmico com o menor gasto de energia elétrica.

No Brasil e no mundo, a tendência do setor de condicionadores de ar aponta para mudanças e aprimoramento no desenvolvimento do produto e processo para reduzir o consumo energético e os efeitos ambientais negativos, através de aspectos fundamentais como a substituição do gás refrigerante, a base de clorofluorcarboneto (CFC), um dos responsáveis pelo aquecimento global e efeito estufa. Outra tendência marcante se refere à rotulagem ambiental, que exige que sejam incluídos no produto, selos que informem seu desempenho ecológico, como por exemplo, o consumo de energia e o volume, em decibéis, emitido por esses equipamentos (SANTOS; SOUZA; COSTA, 1995).

2.4.4 Tipos de aparelhos de ar-condicionado

Existem diversos tipos de condicionadores de ar, variando em tamanhos, preços e capacidades de resfriamento. A escolha do aparelho mais adequado para um determinado empreendimento depende de fatores como o projeto, o *layout*, o número de pessoas, o tamanho do ambiente, e outros. Esses parâmetros de seleção são fundamentais para reduzir gastos de água e energia e aumentar a eficiência do sistema de condicionamento de ar.

Conforme a ASBRAV (2012), os aparelhos de ar-condicionado se classificam em:

- Ar-condicionado de conforto, que tem por finalidade proporcionar um ambiente interior cujas condições de conforto se mantenham relativamente constantes apesar das variações das condições meteorológicas exteriores e das cargas térmicas interiores, e se aplicam a edifícios residenciais baixos e altos, edifícios institucionais, comerciais e de serviços, e veículos de transporte;
- Ar-condicionado de processo, destinado a assegurar as condições ambientais apropriadas à execução de um determinado processo, independentemente da carga térmica e umidade interiores e das condições meteorológicas exteriores. Aplica-se a centros cirúrgicos, aeronaves, centro de processamento de dados, fábrica têxteis, instalações nucleares, laboratórios, e salas limpas cujos processos precisam de níveis muito elevados de limpeza do ar e um estrito controle da temperatura e umidade. Sua capacidade é expressa em Tonelada de

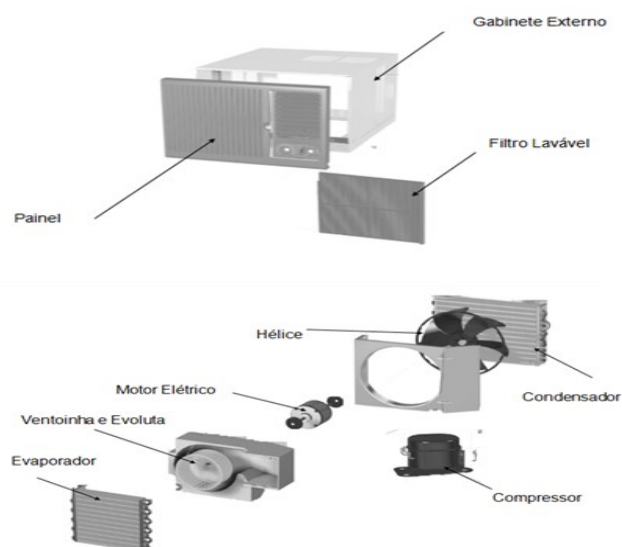
Refrigeração (TR), diferentemente dos outros aparelhos que utilizam a *British Thermal Unit* ou Unidade Térmica Britânica (BTU);

- Ar-condicionado só para o frio, denominado bomba de calor, que além de refrescar no verão, também pode aquecer no inverno apenas invertendo o seu ciclo de funcionamento;
- Ar-condicionado *on-off*, que possui uma tecnologia mais simples e barata, mas consome mais energia para resfriar o ambiente e é indicado para curtos períodos de tempo; e,
- Ar-condicionado *inverter*, que apresenta uma tecnologia que permite modular a potência em função do resfriamento até chegar ao mínimo necessário para manter a temperatura desejada no ambiente, proporcionando uma grande economia no consumo de energia, sendo indicado para longos períodos de uso.

Os tipos de condicionadores de ar estão dispostos no mercado, em modelos, tamanhos e capacidades diversificadas. Bertolini (2009) destaca os principais:

- Ar-condicionado de janela ou parede - É uma caixa compacta contendo, como mostra a Figura 7, todos os componentes necessários para o funcionamento do sistema de condicionamento de ar: o compressor, o condensador, o evaporador, os ventiladores e o motor elétrico. É instalado em uma abertura na janela ou parede, tem baixo custo de instalação e manutenção, e sua capacidade varia entre 7.000 a 30.000 BTUS. Em contrapartida, são os aparelhos que apresentam maior consumo de energia elétrica e nível de ruído elevado.

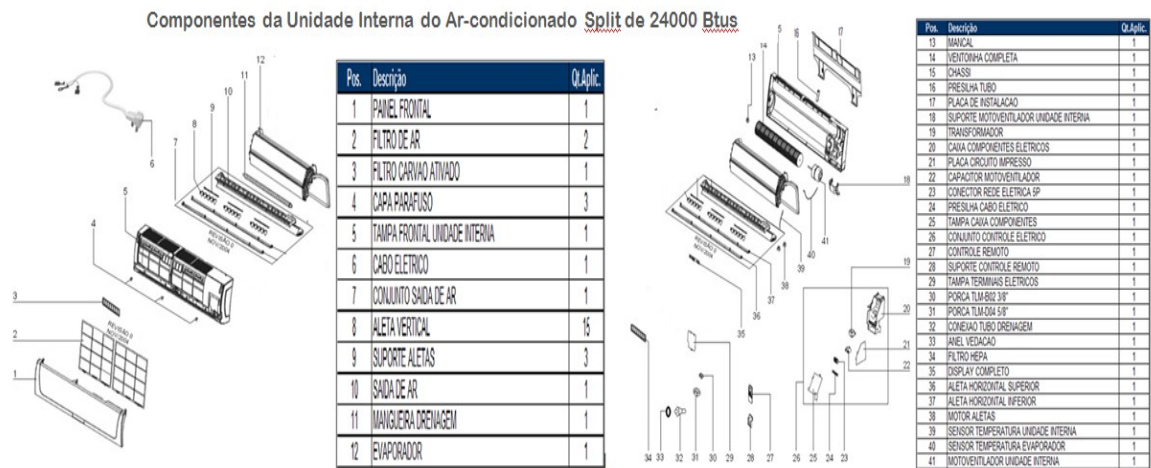
Figura 7: Componentes de ar-condicionado de janela ou parede



Fonte: ELECTROLUX DA AMAZÔNIA LTDA, 2012.

- Ar-condicionado *split* – São equipamentos que apresentam um *design* mais moderno, contendo dois módulos separados: a unidade externa, onde se encontra o compressor, e a unidade interna, que guarda o condensador. A primeira fica no lado de fora do ambiente e se conecta com a última através de canos de cobre e fiação elétrica. Sua capacidade está entre 6.000 a 90.000 BTUS. Esse tipo de aparelho envolve maior grau de tecnologia aplicada ao seu sistema de refrigeração, resultando em maior eficiência e menor consumo de energia no processo de condicionamento de ar. Sua instalação requer um furo mínimo na parede, o nível de ruído é muito baixo e a manutenção é simples. As Figuras 8 e 9 exibem os componentes da unidade interna e externa, respectivamente, de um sistema de ar-condicionado *split*, com capacidade de 24000 BTU/h.

Figura 8: Unidade interna do ar-condicionado *split*



Fonte: ELECTROLUX DA AMAZÔNIA LTDA, 2012.

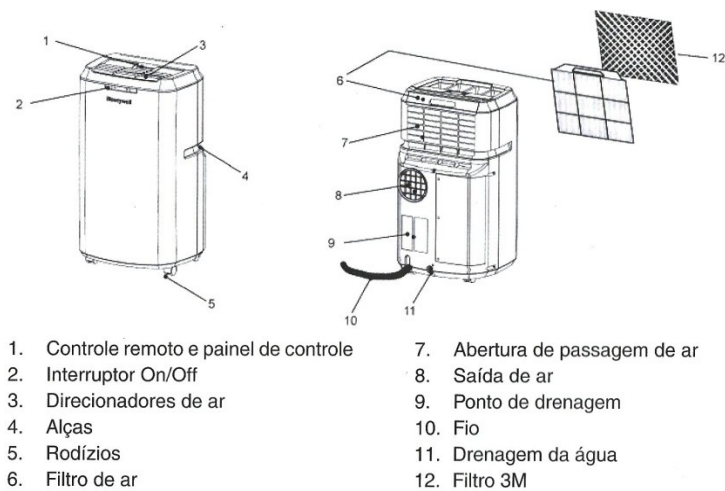
Figura 9: Unidade externa do ar-condicionado *split*



Fonte: ELECTROLUX DA AMAZÔNIA LTDA, 2012.

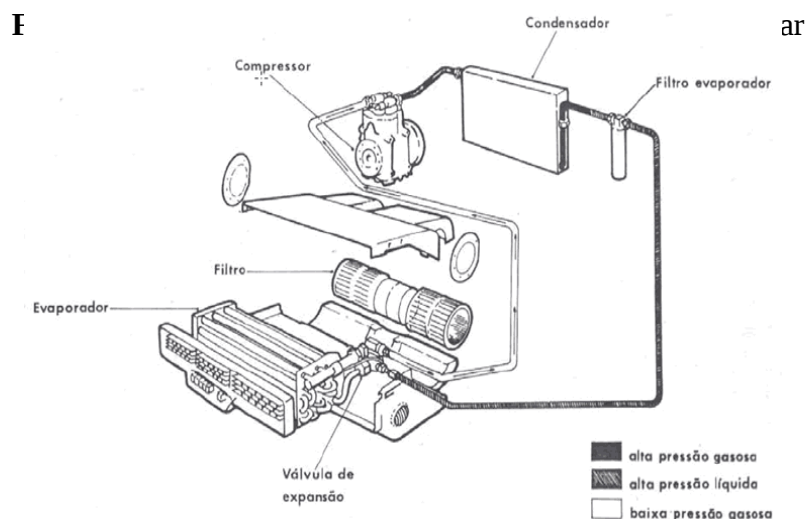
- Ar-condicionado portátil – É aquele aparelho em que o sistema fica dentro de uma caixa montada sobre rodas para ser transportado para qualquer local com facilidade. Possui um cano flexível acoplado a um suporte, que permite a expulsão do ar quente para o lado externo do ambiente. Apresenta um nível de ruído muito baixo e sua instalação é simples, sem a necessidade de quebrar paredes ou janelas, o que explica a sua grande mobilidade. Por outro lado, esse tipo de aparelho tem preço elevado, funções limitadas, baixa potência e é recomendado somente para pequenos ambientes. A Figura 10 apresenta o esquema e os componentes constituintes desse tipo de ar-condicionado;

Figura 10: Esquema do ar-condicionado portátil



Fonte: HONEYWELL, 2010, p. 4.

- Ar-condicionado veicular – O princípio de funcionamento é semelhante aos aparelhos comuns de ar-condicionado, com exceção do compressor que é acionado pelo motor do veículo. Trabalha captando o ar do ambiente e filtrando-o antes de jogá-lo novamente para o interior do veículo. Como evidencia a Figura 11, os elementos que compõe um sistema de ar-condicionado automotivo são: compressor, condensador, evaporador, motor elétrico, ventilador, válvula de expansão termostática, depósito de líquido, filtro, chave magnética e termostato.



Fonte: PEREIRA, 2007, p. 5.

2.4.5 Legislação para uso e instalação dos aparelhos de ar-condicionado

Os sistemas e instalações de condicionadores de ar seguem legislação e normas de controle específicas, elaboradas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas e pelo Ministério da Saúde. Dentre elas estão:

- A ABNT NBR 16401-1: 2008 – Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários Parte 1: Projetos das instalações, que estabelece as diretrizes e os requisitos mínimos de projeto de instalações de ar-condicionado para esses sistemas e instalações especiais como salas limpas, centros cirúrgicos e laboratórios;
- A ABNT NBR 16401-2: 2008 – Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários Parte 2: Parâmetros de conforto térmico, que determina os parâmetros básicos do ambiente interno que proporcionam conforto térmico aos ocupantes de recintos providos de ar-condicionado; e,
- A ABNT NBR 16401-3: 2008 – Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários Parte 3: Qualidade do ar interior, que delibera os requisitos técnicos dos sistemas e componentes relativos à qualidade do ar interior. Essas normas resultam da atualização da norma NBR ISO 6401:1980;
- A ABNT NBR 7541:2004 – Tubo de cobre sem costura para refrigeração e ar-condicionado, que define os requisitos e critérios de exigências a que devem satisfazer esses tubos usados principalmente nesses equipamentos, incluindo as aplicações em que demandem tubos completamente isentos de asperezas e sujeira;
- A NBR 13971:1997 – Sistemas de refrigeração, condicionamento de ar e ventilação, que fornece orientações básicas para as atividades e serviços necessários na manutenção programada de conjuntos e componentes em sistemas e equipamentos de refrigeração, condicionamento de ar e ventilação;
- A Portaria nº 3.523/GM, de 28 de agosto de 1998, do Ministério da Saúde, que aprova o Regulamento Técnico contendo medidas básicas referentes aos procedimentos de limpeza e

manutenção dos componentes dos sistemas de climatização, para garantir a qualidade do ar de interiores e prevenção de riscos à saúde dos ocupantes de ambientes climatizados; e,

- A Resolução RE n ° 176, de 24 de outubro de 2000, do Ministério da Saúde, que estabelece critérios sobre a qualidade do ar interior em ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo, cujo desequilíbrio poderá causar agravos à saúde dos seus ocupantes.

2.4.6 Funcionamento do condicionador de ar

O funcionamento do aparelho de ar-condicionado se dá através do fluído refrigerante que circula através de tubos de cobre, passando do estado líquido para o estado gasoso, com a função de retirar e resfriar o calor do ambiente. Para isso, o compressor, o motor ventilador e os trocadores de calor (condensador e evaporador) constituem o corpo do equipamento, seguidos dos demais componentes, também importantes para o funcionamento do sistema de refrigeração.

Comprimido pelo compressor, o refrigerante circula pelos tubos do evaporador e chega ao condensador em forma de vapor, devido à alta temperatura e pressão exercidas sobre ele. Com o auxílio do ventilador, o gás perde calor e se transforma em líquido novamente. Na forma líquida, passa por um tubo estreito, chamado tubo capilar e se expande, diminuindo a temperatura e, conseqüentemente, tornando-se cada vez mais frio. O gás liquefeito chega ao evaporador precisando absorver calor para passar do estado líquido para o estado gasoso. Nesse momento acontece a troca de calor. Ele absorve o calor do ar ambiente que é sugado pela ventoinha (peça ligada ao motor ventilador), diminuindo a temperatura do ar trazido e a unidade condensa. O ar volta climatizado, isto é, mais frio e mais seco. Após isso, a temperatura do refrigerante aumenta e volta para o estado de vapor, retornado ao compressor para repetir o ciclo (ELECTROLUX DA AMAZÔNIA LTDA, 2012).

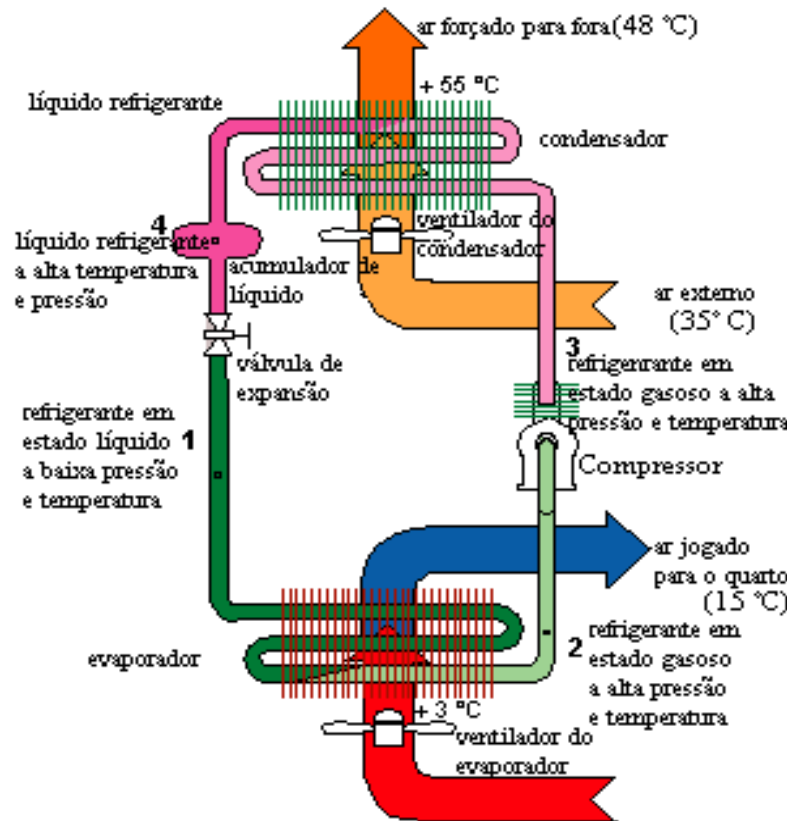
Nos aparelhos de ar-condicionado do tipo *inverter*, que disponibilizam as funções resfriar e aquecer, o condensador e o evaporador trocam as funções quando for necessário. Se houver a necessidade de aquecer o ambiente, basta inverter o ciclo de passagem do gás refrigerante.

Como explica Menezes (2005), o sistema de condicionamento de ar no aparelho de ar-condicionado utiliza o fluído refrigerante para transferir energia de dentro de um ambiente para fora dele, através da troca de calor. O fluído de trabalho é um material que se condensa e vaporiza facilmente quando submetido à variação de temperatura e pressão, e se movimenta, em um ciclo contínuo, através dos três componentes principais do ar-condicionado: o

compressor, o condensador, e o evaporador. O aparelho de ar-condicionado usa a evaporação desse fluido para fornecer refrigeração.

O ciclo de refrigeração executado em um sistema de ar-condicionado é constituído de quatro etapas descritas a seguir e assinaladas no diagrama de funcionamento de um aparelho de ar-condicionado indicado na Figura 12.

Figura 12: Diagrama de funcionamento de um aparelho de ar-condicionado



Fonte: SISTEMAS DE AR CONDICIONADO, 2009.

Na etapa (1) observa-se o evaporador que é um cano em forma retorcida. Nele o fluido refrigerante começa a evaporar e expandir na forma de gás. Com isso, ele utiliza a energia térmica do ambiente para separar suas moléculas umas das outras, tornando-se um gás frio. Imediatamente, o calor flui do ambiente para o gás resfriado. O fluido de trabalho deixa o evaporador como um gás sob baixa pressão e temperatura um pouco menor que a temperatura ambiente, e entra no compressor como um gás a baixa pressão e com temperatura aproximadamente igual a do ambiente, como mostra a etapa (2). O compressor pressiona as moléculas do gás aproximando-as uma das outras, aumentando sua pressão e a densidade. Como a compressão envolve trabalho, o compressor transfere energia para o fluido refrigerante, deixando-o mais quente. O fluido deixa o compressor a alta pressão e com a

temperatura bem acima do ar externo ao ambiente, como indicado na etapa (3). O fluido de trabalho entra no condensador do lado de fora do ambiente e como é mais quente do que o ar externo, o calor flui do gás para o ar. O fluido começa a condensar e elimina mais energia térmica. Esta energia adicional flui como calor para o ar do lado de fora. O fluido deixa o condensador como um líquido sob alta pressão e com temperatura aproximadamente igual à externa. Na etapa (4), ele entra através de um tubo estreito no evaporador, resultando na queda de pressão e o ciclo se repete. No final, o calor é extraído do ambiente e jogado para fora. O compressor consome energia elétrica durante o processo e esta energia também se transforma em energia térmica no ar exterior (SISTEMAS DE AR CONDICIONADO, 2009).

De um modo geral, os sistemas de condicionamento de ar se dividem em três operações principais: a troca de calor, a refrigeração e a distribuição. O processo ocorre quando o calor do ambiente é levado para fora e o compressor comprime o refrigerante até que fique em forma líquida. Esse produto possui uma característica muito específica: ao ser repentinamente retirado do estado de compressão (isso ocorre no evaporador), ele expande, evaporando-se e baixando drasticamente a temperatura. O refrigerante, por sua vez, fica contido em um sistema fechado de tubos, por onde passará a água ou ar que será refrigerado. Para que o compressor trabalhe menos, o refrigerante é previamente resfriado por meio de um condensador para uma temperatura próxima à temperatura ambiente. O gás frio corre através do trocador de calor que permite que absorva calor e esfrie o ar de dentro do ambiente. Mistura-se ao fluido refrigerante uma pequena quantidade de [óleo](#) de baixa densidade, com o propósito de lubrificar o compressor (BERTOLINI, 2009).

2.4.7 Refrigerantes

Em um sistema de ar condicionado, a transferência de calor se dá a partir de um gás refrigerante ou fluido de trabalho ou simplesmente refrigerante. Tal fluido é definido por Venturini e Pirani (2005), como um veículo térmico essencial para o ciclo de refrigeração, que para absorver o calor do ambiente e resfriá-lo, ele passa da fase líquida para a gasosa, uma vez que evapora ao absorver calor e liquefaz ao perder calor.

Para Ferraz e Gomes (2008) refrigerante é um composto químico responsável pelas trocas térmicas nos sistemas de refrigeração e climatização. Esse produto, pela propriedade que possui de passar de líquido a gás, e vice-versa, é capaz de absorver calor, resfriando um ambiente de maneira controlada. Atuam como refrigerantes substâncias como água, álcool, amônia, hidrocarbonetos, compostos halogenados, dióxido de carbono, anidrido sulfuroso,

éter metílico, cloreto de metila, e outros. Alguns desses são tóxicos e inflamáveis, inviabilizando o seu uso.

Com o avanço dos sistemas de refrigeração, novos refrigerantes foram descobertos, surgindo a classe dos clorofluorcarbonetos ou CFCs, com propriedades físicas e químicas propícias para um bom fluido refrigerante. Segundo Rapin (2001), Os CFCs são moléculas constituídas pelos elementos químicos cloro, flúor e carbono. São gases não inflamáveis, conhecidos como freon, que circulam por todo o circuito do aparelho de ar-condicionado (compressor, válvula de expansão, evaporador, condensador) e são responsáveis pela produção de frio nos congeladores. À baixa altitude são pouco tóxicos, mas quando dispersos em alta atmosfera se tornam um dos principais responsáveis pela destruição da camada de ozônio.

O nome “freon” é aplicado a todo e qualquer refrigerante do tipo CFC, que demonstraram ser de utilização absolutamente segura, pois são quimicamente estáveis, inodoros, sem efeito prejudicial sobre o óleo lubrificante e não apresentam efeitos corrosivos. Apenas a inalação em doses concentradas ou quando queimado pela chama do maçarico, pode apresentar efeitos tóxicos ou mesmo fatais. Em função disso são responsáveis pela grande expansão das indústrias de refrigeração e condicionadores de ar (RAPIN, 2001).

Ainda de acordo com Rapin (2001), o fluido refrigerante mais utilizado entre os CFCs é o R12 ou Freon-12 ou diclorofluorcarbono, de fórmula química CCl_2F_2 . É um gás incolor, apresenta odor não desagradável e temperatura de ebulição igual a $-29,8\text{ }^\circ\text{C}$. É extremamente estável, não tem ação sobre o lubrificante e nem ataca os componentes plásticos ou metálicos do sistema. Seu vazamento é facilmente detectado, não é corrosivo e nem explosivo, e não sofre reação química com a água. Seus vapores, por serem cerca de quatro vezes mais pesado que o ar, permanecem rente ao solo, mas se forem expostos à chama, sofrem decomposição, produzindo o fosfogênio, um gás muito perigoso de fórmula molecular $COCl_2$. O R12 é utilizado em ar-condicionado automotivo, na refrigeração comercial e na refrigeração doméstica (refrigeradores e freezers).

Diante da crescente preocupação com a redução do impacto em termos de [mudanças climáticas](#), o freon foi substituído pelos hidroclorofluorcarbonetos, moléculas de CFC em que alguns átomos de cloro foram substituídos por átomos de hidrogênios, dando origem aos HCFCs. Esses compostos estão sendo substituídos gradativamente, pelos hidrofluorcarbonetos, os HFCs, que são moléculas de CFC em que todos os átomos de cloro

foram substituídos por átomos de hidrogênios. Essas substâncias embora sejam menos agressivas à camada de ozônio, também constituem gases de efeito estufa e estão sendo substituídas por refrigerantes alternativos, como o R134a e o [R410A](#), para substituir os gases mais nocivos e minimizar o aquecimento global.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA, através da Resolução nº 267, de 14 de setembro 2000, restringe a importação e proíbe a utilização nos sistemas e equipamentos de refrigeração e de ar condicionado, de substâncias que destroem a camada de ozônio. A listagem dessas substâncias foi elaborada pelo Protocolo de Montreal que estabeleceu prazo para a redução da produção e consumo de compostos com reconhecido potencial de destruição da camada de ozônio. Dentre eles estão o R11 e o R12 (PIRANI, 2007).

Segundo o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), o Brasil tem atuado como defensor e praticante da eliminação acelerada dos gases usados como fluídos refrigerantes em geladeiras e aparelhos de ar-condicionado, que prejudicam a camada de ozônio e são de efeito estufa. A utilização dos CFCs se encerrou em 2007, três anos antes da data prevista, resultando na redução significativa de aproximadamente 50 milhões de toneladas de gás carbônico na atmosfera. O argumento é que essa eliminação, quanto mais cedo aconteça, mais benefícios e contribuições trará para a redução dos impactos ambientais e mudanças climáticas no País (PNUMA, 2012).

Conforme a classificação de Ferraz e Gomez (2008), os fluidos de trabalho são divididos em três categorias, de acordo com o modo de absorver ou dissipar calor. Na categoria (1) estão os gases que resfriam pela absorção do calor latente de vaporização, como o R12, o R22, a amônia, o dióxido de carbono, o cloreto de metila, o anidrido sulfuroso, dentre outros; na (2) estão os refrigerantes que resfriam absorvendo o calor sensível, tais como, o ar e a salmoura (mistura de água e sal); e, a categoria (3) abrange os fluidos que produzem, pela absorção, a remoção do calor latente, como a amônia aquosa usada em geladeiras que não trabalham pelo sistema de compressão.

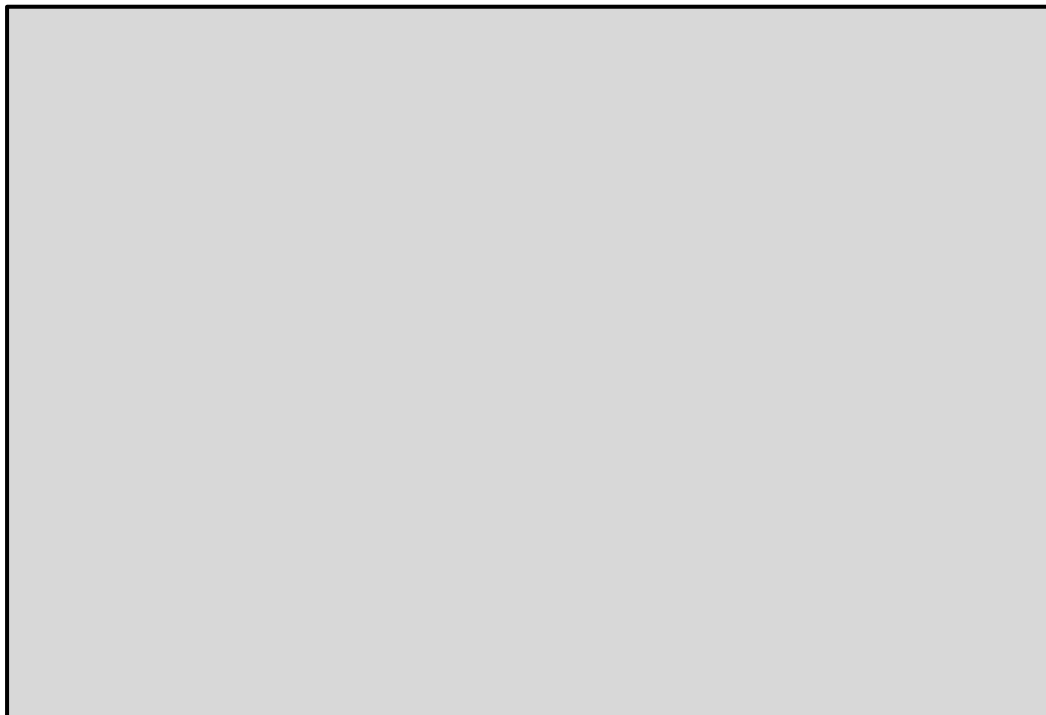
Para Stoecker e Jabardo (2002) os refrigerantes são classificados em grupos distintos, em função de sua composição. Eles podem ser:

- Hidrocarbonetos halogenados, que são aqueles que apresentam em sua composição, um ou mais halogênios do tipo cloro, fluor ou bromo. Fazem parte desse grupo o R11 (Triclorofluormetano), o R22 (difluorclorometano), e o R134a (Tetrafluoretano);

- Hidrocarbonetos puros, que contêm somente átomos de hidrogênio e carbono e são utilizados especialmente nas indústrias de petróleo e petroquímica. Dentre eles estão o R50 (metano), o R170 (etano), e o R290 (propano);
- Compostos inorgânicos como o R717 (amônia), o R764 (dióxido de enxofre), e o R744 (dióxido de carbono);
- Misturas azeotrópicas, que são aqueles refrigerantes que se comportam como uma substância pura, isto é, durante a mudança de fase, se a pressão se mantiver constante, a temperatura também permanece constante; ou,
- Misturas não azeotrópicas, que são os fluidos que se comportam como uma mistura em que, durante a mudança de fase, a temperatura sofre variações a uma pressão constante.

Um bom refrigerante deve atender aos seguintes requisitos: liquefazer-se ou condensar-se a pressões moderadas; evaporar-se a pressões acima da pressão atmosférica; ter pequeno volume específico; possuir elevado calor latente de vaporização; ser quimicamente estável; não ser corrosivo, inflamável ou tóxico; permitir fácil localização de vazamento; e, não reagir com o óleo lubrificante ou provocar qualquer efeito indesejável em outros componentes do ciclo de refrigeração. O Quadro 2 apresenta as características principais de alguns refrigerantes.

Quadro 2: Fluidos refrigerantes e suas constantes físicas



Fonte: RAPIN, 2001, p.50-51.

É importante salientar que não existe um gás que reúna todas as propriedades desejáveis para um bom refrigerante. As propriedades termodinâmicas, físicas e químicas do fluido de trabalho, constituem a base de escolha e fornecem os parâmetros de comparação para a seleção do refrigerante mais adequado. Assim, cada sistema de refrigeração utiliza o gás que apresenta o maior número de propriedades desejáveis, para o seu objetivo (PIRANI, 2007).

Ferraz e Gomez (2008) e Rapin (2001) destacam os principais refrigerantes utilizados em sistemas de condicionamento de ar e refrigeração. São eles:

- O **R11** ou Tricloromonofluormetano, de fórmula química CCl_3F . É um CFC da série do metano, utilizado como fluido transferidor de calor em sistemas de ar-condicionado de grandes capacidades e como solvente na limpeza dos componentes de sistemas de refrigeração. Tem baixo ponto de congelamento, propriedades não corrosivas e um dos mais altos potenciais de destruição da camada de ozônio. Atualmente, tende ao desuso e é largamente substituído pelo R123;
- O **R12** ou Diclorodifluormetano, de fórmula molecular CCl_2F_2 . É um dos refrigerantes mais empregados no ciclo de refrigeração e utilizados em quaisquer instalações industriais, comerciais, refrigeradores domésticos e ares-condicionados. Apresenta alta estabilidade; não é tóxico, inflamável, corrosivo e nem explosivo; não se mistura com óleo lubrificante e seu efeito refrigerante é relativamente baixo, comparado com outros refrigerantes. Com um alto potencial de destruição da camada de ozônio, está sendo substituído pelo R134a;
- O **R22** ou Clorodifluormetano, de fórmula $CHClF_2$. É um HCFC muito empregado em aparelhos de ar-condicionado dos tipos janela e *split* e câmaras frigoríficas. Tem maior capacidade térmica que o R12, pois requer apenas 60% do deslocamento para mesma capacidade frigorífica, e absorve maior quantidade de água do que o R12. Seus substitutos são o R134a, o R502 e o R507a;
- O **R134a** ou 1,1,1,2-Tetrafluoretano, de fórmula CF_3CH_2F . É um HFC utilizado como substituto direto do R12 nas novas instalações de refrigeração e ar-condicionado domésticos. Apresenta estabilidade química e térmica, não é inflamável e nem explosivo, é compatível com a maioria dos materiais e seu desempenho é superior ao R12. Em termos de impactos ambientais, possui potencial zero de destruição da camada de ozônio e efeito estufa;
- O **R410a** é uma mistura quase azeotrópica composta por 50% de Pentafluoretano (R125) e 50% de Difluormetano (R32). É um dos mais importantes refrigerantes do tipo HFC, muito

utilizado em sistemas de ar-condicionado residencial e comercial. Apresenta maior eficiência e capacidade de refrigeração que outros fluidos de trabalho, opera a uma pressão 50% maior que o R22, permitindo que o sistema trabalhe com uma temperatura menor. É quimicamente estável, tem baixa toxicidade e não degrada a camada de ozônio. Foi desenvolvido para substituir o R22 em equipamentos novos, de médias e altas temperaturas de evaporação;

- O **R717** ou amônia, de fórmula NH_3 . É um dos primeiros refrigerantes utilizados em sistemas de refrigeração e é largamente empregado em grandes instalações industriais, dada a sua capacidade térmica. Apesar de tóxico e, sob certas condições, inflamável e explosivo, tem o maior efeito resfriador entre os principais refrigerantes. Não se mistura com o óleo, mas se misturada com água forma álcali, com efeitos indesejáveis sobre o cobre, latão e alumínio. É um refrigerante de baixo custo e seu vazamento é facilmente localizado;
- O **R718** ou Água, de fórmula H_2O . É empregada em máquinas de refrigeração por absorção e apresenta algumas propriedades desejáveis para um refrigerante. É um refrigerante de baixo custo e totalmente seguro, não é tóxica e nem inflamável; e,
- O **R744** ou dióxido carbônico, de fórmula CO_2 . É utilizado em sistemas de condicionamento de ar automotivo e como refrigerante alternativo em outros sistemas de refrigeração. É um gás inerte, incolor e inodoro e apresenta excelente estabilidade química. Não é tóxico e nem inflamável. Apesar de possuir qualidades apropriadas para um bom refrigerante, sofre perda rápida de capacidade e aumento de pressão quando submetido a elevadas temperaturas, fator que limita sua empregabilidade. O CO_2 é um refrigerante próprio para atuar em circuitos de baixa temperatura, ou sistemas de baixa pressão,

Com a necessidade de eliminação e a restrição ao uso de refrigerantes halogenados, previstas pelo Protocolo de Montreal, as atenções se voltam para o uso de refrigerantes naturais como amônia, gás carbônico, propano, butano e isobutano. Com isso, o critério de seleção dos fluidos refrigerantes são as características ambientais como o Potencial de Destruição da Camada de Ozônio (ODP) e o Potencial de Aquecimento Global (GWP).

3. METODOLOGIA DA PESQUISA

O desenvolvimento do trabalho foi fundamentado em duas metodologias distintas: a metodologia da pesquisa científica, que determina como foi realizada a avaliação ambiental do processo produtivo de aparelhos de ar-condicionado de janela; e a metodologia de Análise do Ciclo de Vida, que define os parâmetros e diretrizes para o emprego da ferramenta utilizada na concretização do estudo de caso. Vale ressaltar que esses métodos se complementam e são interdependentes, uma vez que a avaliação ambiental do sistema de produção foi desenvolvida a partir da aplicação da técnica ACV, que permite a identificação e dos impactos ambientais potenciais associados à manufatura desses aparelhos.

Esse capítulo expõe a fundamentação e as características da pesquisa, e descreve os procedimentos metodológicos aplicados na realização do trabalho. A metodologia aplicada ao estudo de caso será descrita no capítulo 4.

3.1 Fundamentação

A pesquisa foi desenvolvida sob uma perspectiva dialética, uma vez que esse método requer um estudo da realidade em seu movimento, analisando as partes em constante relação com a totalidade (OLIVEIRA, 2008). Nesse contexto, foi realizada uma pesquisa documental com o intuito de reunir dados e informações sobre a empresa pesquisada; sobre as atividades do processo de manufatura; e sobre as entradas e saídas envolvidas, a fim de realizar um estudo de Análise do Ciclo de Vida que possibilite a identificação e a avaliação dos impactos ambientais associados ao processo produtivo dos aparelhos de ar-condicionado.

Quanto à sua natureza, a pesquisa se classifica como aplicada, pois se propôs a produzir conhecimentos para aplicação prática e imediata, voltados à solução de problemas específicos, como a redução ou eliminação dos impactos ambientais resultantes da manufatura de aparelhos de ar-condicionado. Teve uma abordagem qualitativa/quantitativa por apresentar características de ambos os tipos, visto que pretendeu acumular dados e quantificá-los para analisar as causas e efeitos do fenômeno em questão, tornando a análise mais completa e global (SILVA; MENEZES, 2001).

Considerando o objetivo do estudo e a natureza do relacionamento entre as variáveis analisadas, a pesquisa é considerada exploratória em sua primeira fase e descritiva na segunda. Além de expor o problema, verificaram-se também as relações entre essas variáveis, permitindo assim a explicação do evento pesquisado.

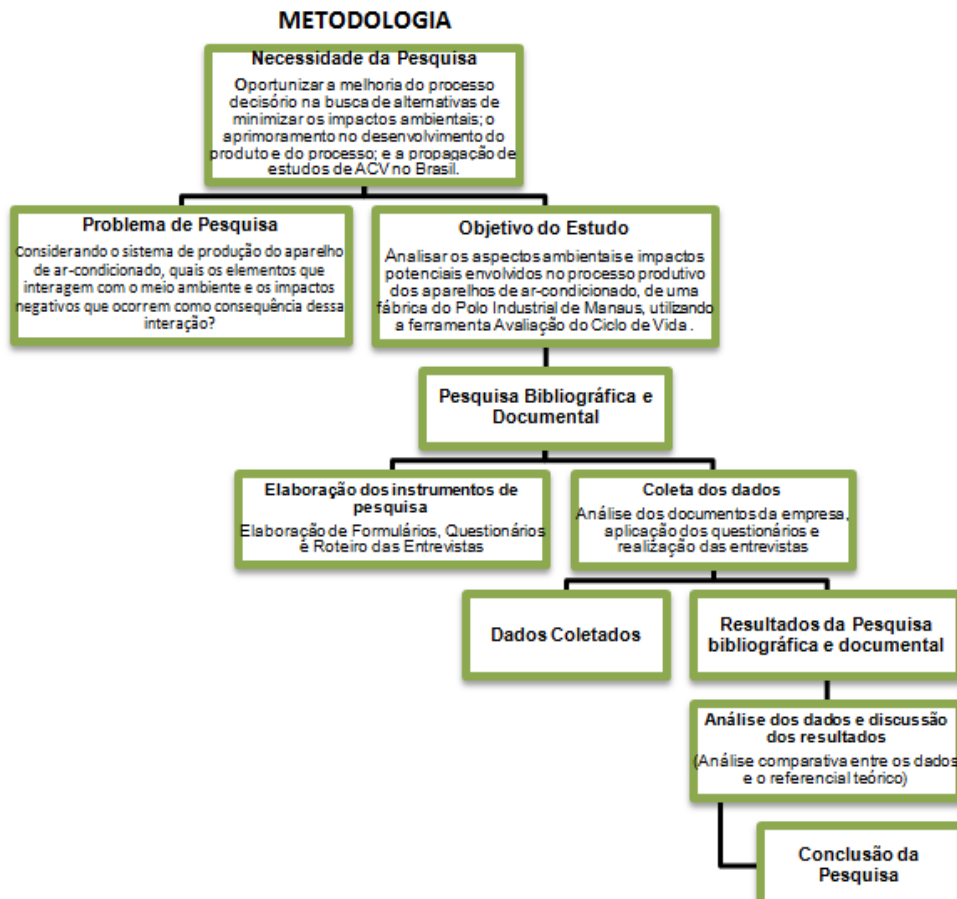
Trata-se de um estudo de caso realizado na Electrolux da Amazônia Ltda, uma empresa fabricante de aparelhos de ar-condicionado do Polo Industrial de Manaus. Esse tipo de pesquisa mostrou-se mais adequada ao escopo do trabalho, porque permitiu identificar e explicar as variáveis causais envolvidas na produção de aparelhos de ar-condicionado (GIL, 1999).

3.2 Procedimento

A pesquisa foi desenvolvida em etapas, articuladas entre si como momentos que se interligam e se desdobram ao mesmo tempo. O objeto de estudo é a avaliação dos aspectos ambientais e impactos potenciais envolvidos no processo produtivo de aparelhos de ar-condicionado de janela, fabricados na Electrolux da Amazônia Ltda, no ano de 2011. Para desenvolver essa avaliação foi aplicada a ferramenta Análise do Ciclo de vida, por meio da utilização do *software* SimaPro 7.3.

O procedimento metodológico para a condução do estudo de caso é detalhado no fluxograma apresentado na Figura 13.

Figura 13: Esquema metodológico da pesquisa



Foi realizado um levantamento bibliográfico sobre o problema de pesquisa, de grande importância para o estudo, pois serviu como primeiro passo, colocando a par do estado em que se encontra atualmente a questão, e permitindo que se estabelecesse um modelo teórico inicial de referência.

Uma preocupação adicional foi dirigida para uma apreciação documental, a fim de analisar os documentos governamentais e institucionais que constituem o conjunto de normas e Políticas Públicas Ambientais, bem como os documentos empresariais, como relatórios, balanços, registros e planilhas, fornecidos pela empresa pesquisada.

A forma como foi feita a coleta e o tratamento dos dados, bem como a definição dos recursos utilizados para esse fim, serão especificados nos subitens a seguir.

3.3 Coleta de Dados

Os dados foram coletados a partir de um planejamento que permitiu identificar e registrar as variáveis de maior relevância para o estudo de ACV de aparelhos de ar-condicionado, dentre elas destacam-se a avaliação energética e a análise de matérias-primas e emissões incorporadas ao processo produtivo desses aparelhos. Com essa finalidade foram realizadas 4 (quatro) visitas técnicas à fábrica, entrevistas do tipo semi-estruturada e aplicação de 2 (dois) questionários: um para a caracterização da empresa e do produto e o outro para a caracterização do processo produtivo de aparelhos de ar-condicionado de janela.

As visitas técnicas foram realizadas na Planta Jutaí, da Electrolux da Amazônia Ltda, que fabrica aparelhos de ar-condicionado do tipo janela e *split*. Tais visitas tiveram como objetivo conhecer a estrutura organizacional da empresa e os sistemas de produção dos aparelhos de ar-condicionado de janela. Na oportunidade foi observado como as atividades são desenvolvidas na fábrica, desde a utilização da matéria-prima até a distribuição do produto. Essas informações foram utilizadas na construção dos fluxos de entrada e saída de recursos, energia e emissões.

O estudo do fluxograma do processo produtivo para a identificação das entradas e saídas, também foi desenvolvido a partir das entrevistas, que possibilitaram a obtenção dos dados qualitativos e quantitativos para embasar a avaliação de impactos ambientais gerados na produção de aparelhos de ar-condicionado. As entrevistas foram direcionadas aos profissionais da área e aos gestores da empresa em estudo, no intuito de conseguir dados e elementos relacionados aos recursos utilizados, ao consumo de energia, as emissões de

poluentes e outros fatores associados ao ciclo de vida dos aparelhos de ar-condicionado de janela.

Já os questionários foram organizados a partir das diretrizes estabelecidas pela ABNT NBR ISO 14040:2009, e aplicados com o propósito de investigar como são executados os controles de insumos e processos, além de verificar como o inventário do ciclo de vida está estruturado para, a partir dele, identificar as entradas, saídas e etapas críticas do processo produtivo dos condicionadores de ar de janela que contribuem expressivamente para os impactos ambientais. Este instrumento foi respondido pelos supervisores e responsáveis pelos processos e demais atividades da empresa e o seu uso se justifica por ser uma técnica que permite ao investigador um número maior de participantes, em um menor espaço de tempo, além de oferecer aos sujeitos da pesquisa a possibilidade de poder ser preenchido em local e hora que melhor lhes convier.

Para melhor atender aos objetivos da pesquisa, os questionários foram constituídos pela combinação de perguntas abertas e fechadas, de modo a dar condições para que o respondente pudesse expressar suas ideias e opiniões de forma mais livre e mais aberta sobre as questões em estudo. Não se exigiu a identificação do sujeito, a fim de evitar constrangimento aos participantes da pesquisa (SILVA; MENEZES, 2001).

3.4 Tratamento dos Dados

Nessa etapa foi efetuada a tabulação dos dados obtidos através da pesquisa documental, questionários e entrevistas, confrontando-os no sentido de conhecer os processos de produção de aparelhos de ar-condicionado de janela e seus sistemas de controle, revelando a visão da empresa referente às questões ambientais associadas a esse setor. Os dados coletados no trabalho de campo foram devidamente ordenados, classificados, analisados e interpretados, através de recursos computacionais como o *software* SimaPro 7.3, desenvolvido especificamente para aplicação em estudo de ACV, e o programa Excel para a tabulação eletrônica dos dados, elaboração de gráficos e tabelas que auxiliaram na análise dos dados e interpretação dos resultados.

Sobre a importância da utilização de *softwares* para auxiliar no estudo de ACV, Lima (2010, p.33), ressalta:

Para a elaboração do inventário dispõe-se de uma quantidade muito extensa de dados, portanto, faz-se necessária a utilização de algum *software* de apoio para a realização dos cálculos nesta etapa. Esses *softwares* também se constituem como fonte importante de ajuda na fase de Avaliação de Impacto, pois relacionam os resultados do inventário às categorias de impacto e indicadores de categoria. As

ferramentas computacionais de apoio à ACV são capazes de auxiliar, não só no ICV, como em todas as etapas da Avaliação do Ciclo de Vida, pois os mesmos disponibilizam ferramentas interativas proporcionando maior dinamismo e economia de tempo para a realização de estudos.

Para a realização da avaliação ambiental do processo produtivo dos aparelhos de ar-condicionado de janela, através da Análise do Ciclo de Vida, foi utilizado o *software* SimaPro 7.3, desenvolvido pela empresa holandesa PRé Consultants bv. Esse instrumento computacional é usado para avaliar a sustentabilidade de produtos, processos ou atividades, e se constitui numa ferramenta profissional de suporte para coleta e análise de dados que oferece um conjunto de recursos úteis ao desenvolvimento do estudo de ACV, em acordo com os princípios e diretrizes estabelecidas pela ISO 14040:2006.

O SimaPro (*System for Integrated Environmental Assessment of Products*) é uma ferramenta ambiental, de caráter gerencial, utilizado para a Análise do Ciclo de Vida. É um *software* com base matemática e estatística que opera a partir da inserção de dados de entradas e saídas de energia, recurso e emissões de produtos, processos ou serviços. A partir deles, são gerados e associados novos dados para análise, permitindo a avaliação de impactos e danos ao meio ambiente. O *software* tem grande aceitação e é um dos mais utilizados no estudo de ACV (SANTOS; FERNANDES, 2012).

Segundo Ribeiro (2003), os processos são as unidades fundamentais do SimaPro. Neles são especificados os conjuntos de entradas e saídas relativos ao produto ou atividade. Consideram-se as entradas de recursos, materiais, combustíveis, calor e eletricidade. Já as saídas incluem os produtos e coprodutos; as emissões para ar, água e solo; os resíduos e emissões para tratamento; e os fluxos finais de resíduos. A análise dos aspectos ambientais e dos impactos potenciais é feita a partir da utilização das bases de dados dispostos pelo programa. O usuário pode criar novos processos e construir um novo banco de dados concernente ao seu objeto de estudo. Uma vez definidos e correlacionados os diferentes processos, criam-se as fases do produto, que relacionam e encadeiam esses processos em um fluxograma, denominado árvores ou rede. Para obter o inventário consolidado, o programa pondera os processos segundo os fatores aplicados em cada fase de produto, somando suas contribuições.

O SimaPro 7.3 engloba bases de dados internacionais que auxiliam a análise das informações e a interpretação dos resultados, possibilitando sua aplicação na construção de modelos de sistema e produtos, no cálculo da pegada de carbono, nas declarações ambientais de produtos, na identificação de impactos ambientais de produtos ou serviços, e na

determinação de indicadores de desempenho ambiental. Também denominados de bibliotecas, esses bancos de dados são utilizados para analisar a fase de produção, avaliar o ciclo de vida, e/ou comparar produtos com funções similares. Dentre eles, destacam-se (PRÉ CONSULTANTS, 2011):

- O *Ecoinvent*, que resulta da combinação e ampliação de diferentes bases de dados de Inventário de Ciclo de Vida. De responsabilidade do Centro Suíço de Inventários do Ciclo de Vida, é constituído por 4.100 conjuntos de dados de produtos, processos e serviços obtidos a partir da análise de energia, transportes, materiais de construção, produtos químicos, papel e celulose, tratamento de resíduos e setor agrícola;
- O *European Life Cycle Database (ELCD)*, um banco de dados europeu que dispõe de um conjunto de informações acerca de emissões, consumo de recursos e outras fontes de materiais essenciais, considerando dados de energia, transporte e gestão de resíduos, voltados para a realidade de países pertencentes à União Europeia;
- O *EU & DK input-output Database*, que consiste em uma compilação de entradas e saídas referentes à importação para a Dinamarca de produtos produzidos pela União Europeia. Esse projeto inclui dados sobre a geração e tratamento de resíduos em unidades físicas e faz a distinção entre a produção de material virgem e reciclagem de resíduos;
- O *Industry data 2.0*, que apresenta uma coleção de dados colhidos das associações de indústrias, tais como a *Plastics Europe*;
- O *Swiss input Output Database*, que traz uma análise ambiental estendida dos *inputs* e *outputs* da Suíça no ano de 2005, fornecendo dados de emissões e recursos utilizados para 43 grupos de produtos e 15 categorias de bens e serviços importados, além de dados estatísticos do comércio, importação e exportação;
- O *USA input Output Database*, que provê informações de entradas e saídas para auxiliar nas análises de sistemas ambientais e avaliações do ciclo de vida, quantificando o consumo de recursos naturais e as emissões ambientais de produtos, relacionando-os com as questões econômicas envolvidas na cadeia de suprimento; e,
- O *U.S. Life Cycle Inventory Database (USLCI)*, que consiste em um banco de dados de Inventário de Ciclo de Vida dos Estados Unidos da América, contendo módulos de dados que quantificam o material e os fluxos de energia dentro e fora do ambiente de processos.

Os dados e a metodologia utilizadas no SimaPro 7.3 para a Análise do Ciclo de Vida, se baseiam em três categorias ambientais: qualidade do ecossistema; saúde humana; e recursos minerais e combustíveis fósseis. Decorrente disso esse *software* apresenta diversos métodos de avaliação de impactos ambientais. Dentre eles estão o Eco-indicator 99, o CML 2001, o EDIP 2003, o IMPACT 2002 +, e o TRACI 2. A escolha do método de avaliação de impactos ambientais deve ser feita em acordo com o objetivo da ACV.

A estrutura básica dos métodos de avaliação de impacto no SimaPro 7.3, envolvem a caracterização, a avaliação de danos, a normalização e a ponderação. De acordo com as normas ABNT NBR ISO 14040:2009 e 14044:2009, os três últimos passos são opcionais, por isso não estão presentes em todos os métodos.

A caracterização leva em consideração as substâncias que contribuem para uma determinada categoria de impacto. As quantidades de cada substância são multiplicadas por um fator de caracterização que indica sua contribuição para um determinado problema ambiental. Na caracterização a contribuição de cada fluxo do inventário é calculada para cada impacto de interesse e o resultado é expresso como indicador de categoria de impacto. O fator de caracterização é um fator derivado de um modelo de caracterização, aplicado para converter o resultado da análise de inventário do ciclo de vida na unidade comum do indicador de categoria. (ABNT NBR ISO 14040:2009).

No que diz respeito aos elementos opcionais da análise de impacto de ciclo de vida (AICV), a avaliação de danos aponta para a importância relativa associada a cada efeito ambiental, permitindo agregá-los para obter um indicador de impacto. A normalização é a contribuição do produto para cada impacto ao nível global, nacional, regional ou local e é utilizada para comparar o impacto em relação a uma referência, ou seja, indica o tamanho de cada efeito em relação aos demais, contribuindo para a contabilidade do impacto total causado pelo produto, processo ou serviço em questão. Na normalização, cada efeito calculado é confrontado com o valor total conhecido para aquela classe de impacto, fornecendo um panorama geral dos danos causados pelo sistema. Já a ponderação é a conversão e possível agregação dos resultados dos indicadores entre as diferentes categorias de impacto, utilizando fatores numéricos baseados em escolha de valores (ABNT NBR ISO 14044:2009).

Segundo Gama (2010), todos os impactos avaliados através da utilização do SimaPro são apresentados em *points* (Pt), unidade padrão da generalidade dos métodos de avaliação

dos impactos de ciclo de vida, cuja escala é escolhida de maneira que o valor de 1 *point* (Pt) equivale a um milésimo do peso ambiental de um habitante europeu médio.

Para a realização da avaliação ambiental do processo produtivo de aparelhos de ar-condicionado, a que se propõe esse trabalho, foi selecionado o método Eco-indicator 99, que apresenta como característica principal a redução do número de itens a serem ponderados na Análise do Ciclo de Vida de produtos, atividades ou serviços, e tem por objetivo a transformação dos dados do inventário em categorias de danos relacionados à saúde humana, à qualidade do ecossistema e aos recursos naturais. Além da caracterização, esse método contempla também, os elementos opcionais (avaliação de danos, normalização e ponderação) da Análise do Inventário do Ciclo de Vida.

De acordo com a PRé Consultants (2011), o Eco-indicator 99 é um método orientado para o dano, assim sendo, as categorias de impacto estão relacionadas a uma ou mais categorias de dano. Os danos à saúde humana incluem o número e a duração dos efeitos, fatalidades e incapacidades provenientes de causas ambientais. São expressos em número de anos de vida perdido e número de anos vividos com deficiência de saúde, combinados com os Anos de Vida ajustados à Deficiência, ou do inglês, *Disability Adjusted Life Years* (DALY). Em função disso, as categorias de impacto relativas aos danos à saúde humana são medidas em DALY / kg de emissão. Essas categorias são:

- Efeito carcinogênico – são os efeitos relativos às emissões de substâncias cancerígenas no ar, na água e no solo;
- Efeito respiratório orgânico – são os efeitos respiratórios causados pelas emissões de substâncias orgânicas para o ar;
- Efeito respiratório inorgânico – são os efeitos respiratórios resultantes das emissões de poeira, enxofre e óxidos de nitrogênio no ar;
- Mudança climática – são os danos que resultam do aumento de doenças e mortes causadas pelas mudanças climáticas;
- Radiação Iônica – são os danos causados pelas emissões radioativas; e
- Depleção da camada de ozônio – são os danos ocasionados pelo aumento da radiação ultravioleta, resultante da emissão para o ar, de substâncias com potencial de destruição da camada de ozônio.

No que diz respeito à qualidade do ecossistema, os danos compreendem os efeitos da extinção de espécies ao longo de uma determinada área, para sempre, ou durante certo período de tempo. As categorias de impacto voltadas para esses danos são:

- Ecotoxicidade – são os danos à qualidade do ecossistema, resultantes da emissão de substâncias ecotóxicas para o ar, água e solo. São expressos em PAF (*Potentially Affected Fraction*) * m² * ano / kg de emissão;
- Acidificação/ Eutrofização – são os danos ao ecossistema que resultam da emissão para o ar, de substâncias acidificantes. Essas categorias são medidas em PDF (*Potentially Disappeared Fraction*) * m² * ano / kg emissão;
- Uso, ocupação e transformação da terra – o uso da terra gera impacto sobre a diversidade das espécies que depende do tipo de uso do solo e do tamanho da área. Os danos são gerados a partir de qualquer conversão de terras ou ocupação do solo, e são calculados por PDF (*Potentially Disappeared Fraction*) * m² * ano/m².

Já os danos aos recursos, expressam a energia necessária para futuras extrações de recursos minerais e combustíveis fósseis. Nesse conjunto, as categorias de impacto em destaque são:

- Extração de recursos minerais – Essa categoria parte do princípio que a humanidade sempre extrai primeiro, os melhores recursos, deixando os de qualidade inferior para uma extração futura. Os danos aos recursos será sentido pelas gerações futuras, já que terão que envolver um esforço maior para extrair os materiais restantes. Esse esforço extra é definido como energia excedente. Essa categoria de impacto é expressa em excedente de energia / kg de mineral ou minério.
- Combustíveis fósseis – Essa categoria é caracterizada pela energia excedente por MJ, kg ou m³ de combustível fóssil extraído, resultante de recursos de qualidade inferior.

O SimaPro 7.3 está disponível no mercado em versões direcionadas para objetivos e públicos diferentes. Neste trabalho foi utilizado o *software* SimaPro 7.3, na versão *Faculty*, uma versão educacional com licença gratuita, concedida pela empresa PRé Consultants, para estudantes e professores de universidades de países não membros da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico, OCDE. Além de atender plenamente aos objetivos do trabalho, o fácil acesso e a disponibilização de uma versão Demo e da versão educacional gratuita, são as razões que levaram a escolha desse *software*.

Essa ferramenta computacional segue a estrutura (definição de objetivo e âmbito, construção de inventário de ciclo de vida, avaliação de impacto e interpretação) e as diretrizes da norma ISO 14040:2006 para o desenvolvimento da Análise do Ciclo de Vida, permitindo avaliar de forma holística, do ponto de vista ambiental ou, ainda, socioeconômico, todas as etapas do ciclo de vida de um produto ou serviço. Além da visualização gráfica dos processos que mais contribuem para os impactos ambientais, também é possível verificar a incerteza do modelo produzido e promover análises de sensibilidade alterando parâmetros definidos (PRÉ CONSULTANTS, 2011).

Conforme constata Carvalho (2008), o *software* SimaPro atua em três campos do conhecimento científico, designados esferas: esfera tecnológica (*techcosphere*), esfera ecológica (*ecosphere*) e esfera de valores (*valuesphere*). A partir dessas esferas é possível estabelecer a construção do inventário do ciclo de vida, a relação da tabela de inventário com as categorias de impactos selecionadas (danos à saúde humana, ao ecossistema e aos recursos), e a ponderação das categorias de danos para transformá-las em indicadores de impacto.

Com a utilização do SimaPro 7.3 foi possível verificar, a partir da Avaliação do Ciclo de Vida, quais os aspectos ambientais e impactos potenciais envolvidos no processo produtivo de aparelhos de ar-condicionado de janela; caracterizar os impactos ambientais associados às entradas e saídas de recursos, energia e emissões, envolvidas na produção de aparelhos de ar-condicionado de janela; e identificar as etapas críticas da manufatura que contribuem expressivamente para os impactos ambientais.

Nesse contexto, o presente trabalho foi elaborado a partir da análise das articulações feitas entre os dados coletados, mediatizada pela fundamentação teórica estudada, respondendo as questões de pesquisa com base em seus objetivos.

3.5 Validação dos Resultados

Todo estudo de caso, como afirma Cauchick Miguel (2010), deve estar pautado na confiabilidade e validade, uma vez que esses são os critérios utilizados para se avaliar a qualidade da pesquisa realizada. A validação dos resultados depende da confiabilidade das medidas e da qualidade dos dados coletados, sendo fundamental no estudo de ACV, pois dela depende também a sua aplicabilidade.

Para validar essa pesquisa foi realizado, através do *software* SimaPro 7.3, um estudo de sensibilidade e de incerteza dos dados, aplicado à Análise do Ciclo de Vida de aparelhos de

ar-condicionado, como recomenda a NBR ISO 14040:2009. A análise de sensibilidade consiste em procedimentos sistemáticos para medir os efeitos das escolhas adotadas em termos de métodos e danos nos resultados do estudo. Por sua vez, a análise de incerteza envolve a quantificação da incerteza introduzida nos resultados da análise de inventário do ciclo de vida, pelos efeitos cumulativos da imprecisão dos modelos, das entradas e variabilidade dos dados inseridos (ABNT NBR ISO 14040:2009).

Passuello (2007) ressalta a utilização do SimaPro na realização da análise de incerteza e qualidade dos dados de ACV, por meio do cálculo do balanço de ACV, uma vez que a estrutura desse *software* se baseia nos fluxos, processos, planos e balanços de entradas e saídas. Esse balanço é calculado a partir do sistema de produto e dos procedimentos de alocação, que resultam nos resultados de inventário e de impactos. Com base nos balanços de massa, balanços de energia ou comparação de fatores de emissão, pode-se realizar a validação dos dados.

Esse estudo tem o propósito de avaliar a influência das variações dos dados em relação a sua significância. Assim sendo, o procedimento considera sensível se essa variação promover mudanças nos resultados. A legitimação dos resultados pode ser concretizada à medida que os dados são coletados.

4. ESTUDO DE CASO: AVALIAÇÃO AMBIENTAL DO PROCESSO PRODUTIVO DE APARELHOS DE AR-CONDICIONADO UTILIZANDO A FERRAMENTA ANÁLISE DO CICLO DE VIDA

4.1 Metodologia

O estudo de caso realizado consiste em uma avaliação ambiental do processo produtivo de aparelhos de ar-condicionado de janela, utilizando a ferramenta Análise do Ciclo de Vida (ACV). A metodologia aplicada foi fundamentada nas normas da ABNT NBR ISO 14040:2009 e NBR ISO 14044:2009, com o objetivo de avaliar os aspectos ambientais e impactos potenciais envolvidos na produção desses aparelhos.

A empresa pesquisada foi a Electrolux da Amazônia Ltda, localizada no Polo Industrial de Manaus, e o objeto de estudo é o processo produtivo dos aparelhos de ar-condicionado de janela produzidos na Planta Jutáí, no ano de 2011.

Os dados e informações utilizados para caracterização da empresa, do produto e do processo produtivo de aparelhos de ar-condicionado de janela, foram obtidos a partir das entrevistas e dos questionários aplicados à Coordenadora de SGI da empresa e outros funcionários que auxiliaram na pesquisa.

4.2 Caracterização da Empresa

A história do grupo Electrolux tem início em 1919, na Suécia, com a fusão da AB Lux, fabricante das lâmpadas LUX e do primeiro aspirador de pó, com a empresa Elektromekaniska. Essa composição deu origem a AB Electrolux, que produziu, em 1925, o primeiro refrigerador de absorção, conhecido como "geladeira D". Em 1956, a Electrolux lança na Europa, o primeiro freezer horizontal e o primeiro refrigerador operado por compressor. E, em 1993, apresenta ao mercado, o primeiro refrigerador totalmente livre de clorofluorcarbonetos, comprovando assim, uma grande preocupação com as questões ambientais associadas aos seus produtos (ELECTROLUX, 2012).

O grupo Electrolux é constituído por mais de 500 empresas, situadas em 60 países diferentes, que atuam nos ramos de eletrodomésticos, hotelaria, informática, aviação, comunicação, dentre outros. Seus produtos são comercializados através de 300 marcas, em mais de 150 países. É considerado um dos líderes mundiais no setor de eletrodomésticos, com a comercialização de 55 milhões de produtos por ano. Nesse segmento, seus principais

produtos são geladeiras, micro-ondas, condicionadores de ar, aspiradores de pó, fogões e freezers. Com cerca de 51.500 funcionários, o seu faturamento, em 2010, foi da ordem de US\$ 16,2 bilhões (ELECTROLUX, 2012).

A Electrolux é uma empresa multinacional, de grande porte, com sede mundial em Estocolmo. A implantação da Electrolux do Brasil S/A se deu em 1926, e conta com 4 fábricas instaladas no País: duas em Curitiba, uma em São Carlos e uma em Manaus. Das unidades fabris de Curitiba, uma fabrica refrigeradores e freezers e a outra produz aspiradores e lavadoras de alta pressão; a de São Carlos, em São Paulo, produz lavadoras de roupa, *freezers* e fogões; e a de Manaus, é responsável pela manufatura de condicionadores de ar e montagem de fornos micro-ondas. A Administração da empresa está sediada em São Paulo (ELECTROLUX, 2012).

A Electrolux da Amazônia Ltda é uma empresa que, desde 1998, compõe o parque industrial da Zona Franca de Manaus. Localiza-se na Rua Jutaí, nº 280A, no Distrito Industrial. A Figura 14 mostra a localização geográfica da Planta Jutaí, como é conhecida a unidade de manufatura de ar-condicionado e aonde a pesquisa foi realizada.

Figura 14: Localização geográfica da Electrolux da Amazônia Ltda



Fonte: GOOGLE MAPS, 2013.

O parque fabril da Electrolux da Amazônia Ltda está implantado no Polo Industrial de Manaus e é dotado de maquinários de ponta, operando com moderna tecnologia da multinacional sueca. A produção é destinada ao mercado brasileiro e conta com 2 (duas) unidades industriais instaladas no Distrito Industrial da cidade: a unidade ARCON (Planta

Jutaí), ocupando uma área de 25589,34 m² – 15435,92 m² de área construída e 10153,42m² de área livre – para a produção de condicionadores de ar do tipo janela e montagem de aparelhos de ar-condicionado do tipo *split*; e a Unidade FMO que ocupa uma área de 28743,82 m², com 15234,61 m² de área construída e 13509,21m² de área livre, para a fabricação de fornos micro-ondas (ELECTROLUXDA AMAZÔNIA LTDA, 2012).

É uma empresa privada, de capital estrangeiro, gerenciada por seus proprietários. Atua na manufatura de aparelhos de ar-condicionado de janela e *split*, e na montagem de fornos micro-ondas. Seus subprodutos são a cavidade de fornos micro-ondas e o gabinete de aparelhos de ar-condicionado. Tanto os seus produtos quanto os subprodutos apresentam como principais atributos a qualidade, o conforto e o *design* (ELECTROLUXDA AMAZÔNIA LTDA, 2012).

A fábrica conta com 959 funcionários, assim distribuídos: 543 na produção, 252 na administração e 164 em outras áreas. A atividade principal é a fabricação de aparelhos de ar-condicionado. Para desenvolver essa atividade, além de seus funcionários, conta também com mão de obra terceirizada para separação, coleta e segregação dos resíduos gerados na produção.

Para diferenciar seus produtos a Electrolux da Amazônia Ltda foca na inovação. Nos últimos cinco anos as principais ações inovadoras adotadas pela empresa foram o desenvolvimento do *design*, a utilização de novas matérias-primas e a alteração da embalagem de seus produtos. No que se refere ao processo produtivo destaca-se a nova configuração da planta industrial, a introdução de novas técnicas organizacionais e a incorporação de novos equipamentos na produção. Como resultado dessas atividades, constatam-se aumento da produtividade e da qualidade de produtos, e a redução de custos (ELECTROLUXDA AMAZÔNIA LTDA, 2012).

A Electrolux da Amazônia Ltda tem um plano de gestão ambiental que possibilita o alcance da meta de desempenho ambiental e promoção de melhorias contínuas. Dentro do organograma da empresa essa gestão é de responsabilidade da Coordenação de Sistema de Gestão Integrado (SGI), do setor de Engenharia de Manufatura, e seu principal objetivo é eliminar ou minimizar os impactos ambientais gerados pelo processo produtivo, por meio de ações preventivas ou medidas mitigadoras. Tais ações incluem a formulação de estratégias de administração do meio ambiente, a garantia de conformidade com as leis ambientais, a implementação do programa de prevenção à poluição, a condução de atividades empresarias

sustentáveis e a monitoração do programa ambiental da empresa. A gestão ambiental desenvolvida garante a empresa a certificação de qualidade ambiental ISO 14001:2004.

As ações desenvolvidas pelo gerenciamento ambiental da empresa, não abrange a aplicação da logística reversa ou outra estratégia de reuso e reciclagem dos elementos básicos e componentes dos aparelhos de ar-condicionado, após o consumo ou dos aparelhos devolvidos.

4.3 Caracterização do produto

O mercado brasileiro de aparelhos de ar-condicionado é caracterizado pelo consumo. Diante disso, para manter a posição e a competitividade nesse mercado, a Electrolux da Amazônia Ltda assinala como fatores determinantes a qualidade, o preço e a inovação no design e estilo de seus produtos.

Os principais produtos manufaturados pela empresa são os aparelhos de ar-condicionado e os fornos micro-ondas, e os subprodutos são o gabinete para aparelhos de ar-condicionado de janela e a cavidade para fornos micro-ondas. Visto que o objetivo do trabalho é avaliar os impactos ambientais ocasionados pela produção de aparelhos de ar-condicionado de janela, a pesquisa se restringiu a coleta e análise dos dados referentes a esse tipo de aparelho somente, deixando de fora toda e qualquer informação sobre o aparelho de ar-condicionado *split* e o forno micro-ondas.

A Electrolux da Amazônia Ltda atua no setor de aparelhos de ar-condicionado há 15 (quinze) anos, produzindo condicionadores de ar de modelos e capacidades diferentes. Na Planta Jutá são fabricados aparelhos de ar-condicionado de janela de 7000 BTUS, 10000 BTUS, 12000 BTUS e 18000 BTUS.

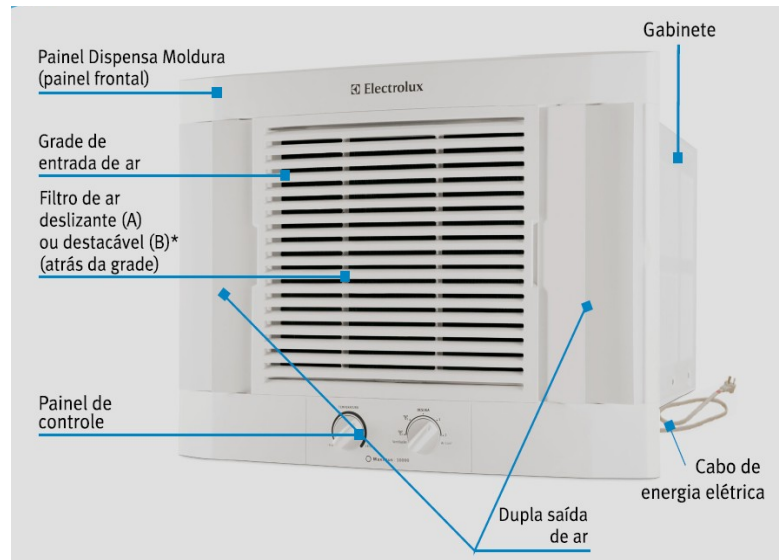
Aparelhos de ar-condicionado de parede ou janela são aqueles que reúnem no mesmo gabinete o evaporador e o condensador. São instalados em uma parede externa ou em uma janela e a parte posterior do produto fica sempre direcionada ao ambiente externo. Esse aparelho é constituído de um painel frontal, o painel de controle, o gabinete e o conjunto interno contendo o evaporador e o condensador.

Cada produto tem atributos específicos e são projetados de acordo com padrões técnicos para garantir o cumprimento da sua função que é climatizar o ambiente, por meio do aumento ou diminuição da temperatura, promovendo conforto térmico, controle da umidade, ventilação e qualidade do ar. As características de um aparelho de ar-condicionado variam em

função da diversidade de parâmetros ambientais a serem contemplados, do modelo e da capacidade do produto.

A Figura 15 exibe a estrutura de um condicionador de janela produzido pela Electrolux da Amazônia Ltda.

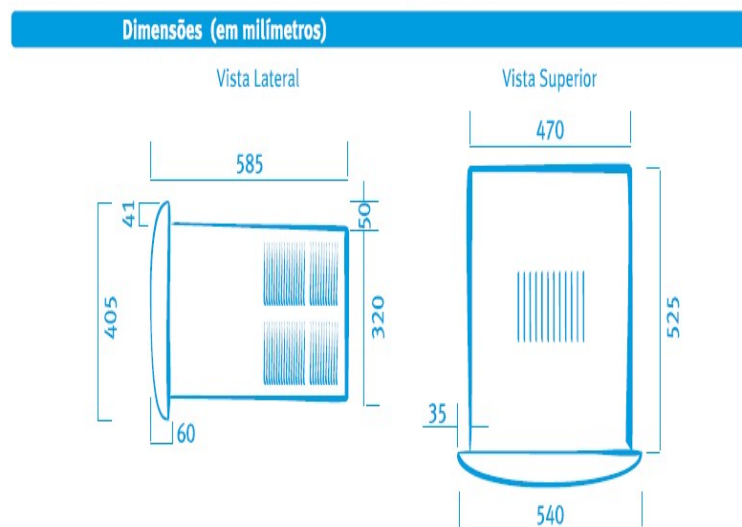
Figura 15: Aparelho de ar-condicionado de parede ou janela fabricado na Electrolux



Fonte: ELECTROLUX, 2011, p. 4.

O peso bruto de um aparelho de ar-condicionado de janela é de 29 Kg, em média. Essa massa, assim como outras características, pode variar de acordo com o modelo produzido. Já as dimensões são iguais para todas as capacidades de condicionadores de ar de janela produzidos pela Electrolux. Tais dimensões estão especificadas na Figura 16.

Figura 16: Dimensões dos aparelhos de ar-condicionado de janela da Electrolux



Fonte: ELECTROLUX, 2011, p. 21.

A Tabela 1 apresenta as especificações técnicas comparativas de um condicionador de ar de janela de capacidade de 7500 BTUS e outro de capacidade de 10000 BTUS, com valores referentes às características, capacidade de refrigeração, consumo e eficiência energética de cada um.

Tabela 1: Características de aparelhos de ar-condicionado de 7500 e 10000 BTUS

Características	Modelo	
	EE07F	EE10R
Capacidade	7500 BTU / h	10000 BTU / h
Fabricante	Electrolux	Electrolux
Ciclo	Frio (Somente ciclo de refrigeração)	Reverso (Com ciclo de refrigeração e aquecimento)
Tensão	127 V	127 V
Faixa de tensão	105 a 140 V	105 a 140 V
Frequência	60 Hz	60 Hz
Tipo de compressor	Rotativo	Rotativo
Energia	Elétrica	Elétrica
Eficiência energética kJ/Wh	10,02	10,31
Selo Procel	Baixo consumo de energia	Baixo consumo de energia
Capacidade total de refrigeração BTU/h	7500	10000

ELECTROLUX,

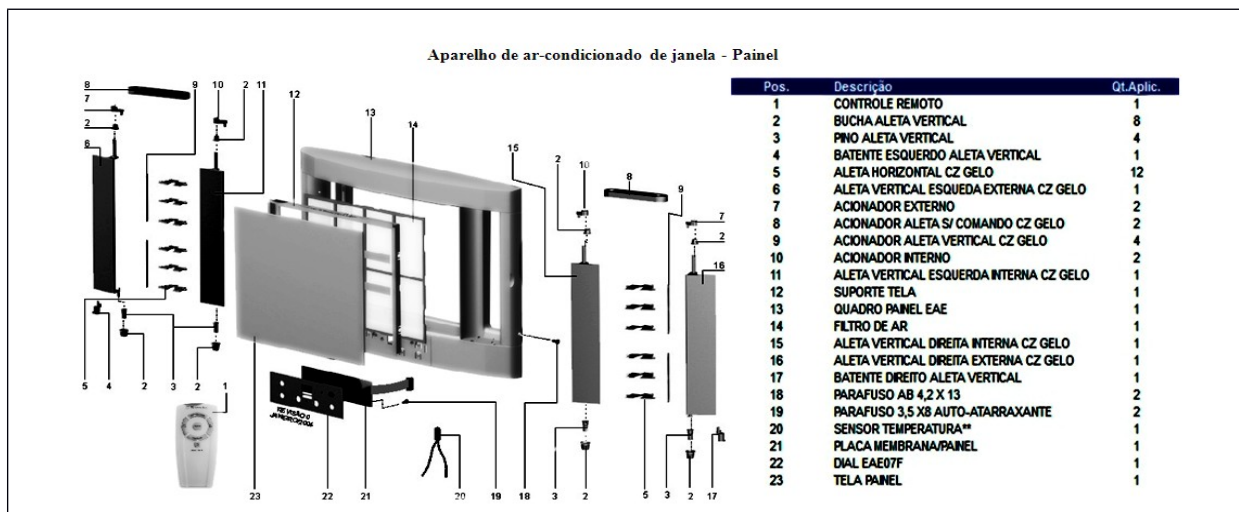
De um aparelho de ar-janela tem um médio de 10 compostos por como aço, cabos e redes componentes

componentes elétricos e eletrônicos, componentes metálicos, componentes plásticos, compressor, painéis e circuitos impressos, refrigerante R22, gás GLP, materiais de isolamento, materiais de embalagem, motor elétrico, papel, sistema de refrigeração, tintas e solventes, termostato e *timers*. A Figura 17 apresenta a vista explodida do painel frontal, do conjunto interno e do gabinete de um aparelho de ar-condicionado de janela, destacando os seus componentes.

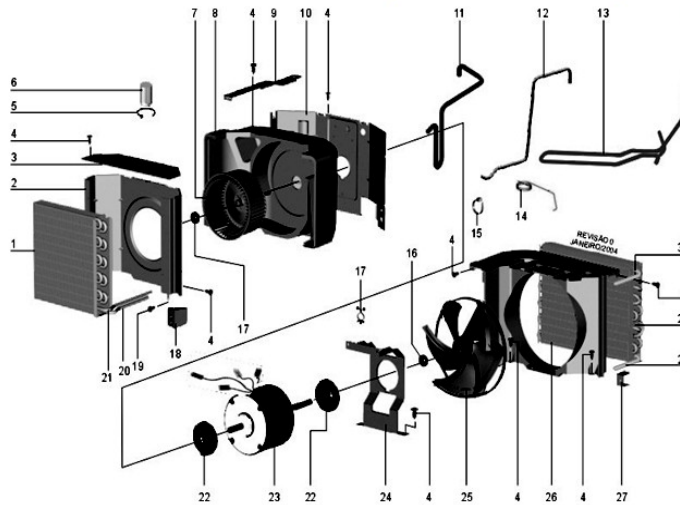
Fonte: Adaptado de 2011.

modo geral, os condicionado de tempo de vida anos e são elementos e peças alumínio, cobre, elétricas, de borracha,

Figura 17: Vista explodida de um aparelho de ar-condicionado de janela

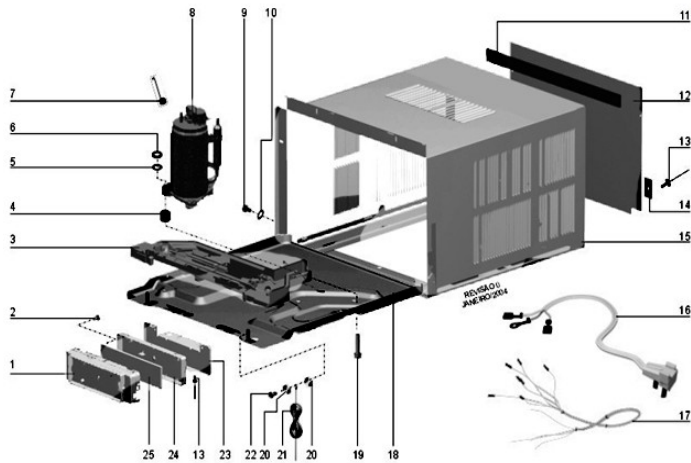


Aparelho de ar-condicionado de janela - Conjunto Interno



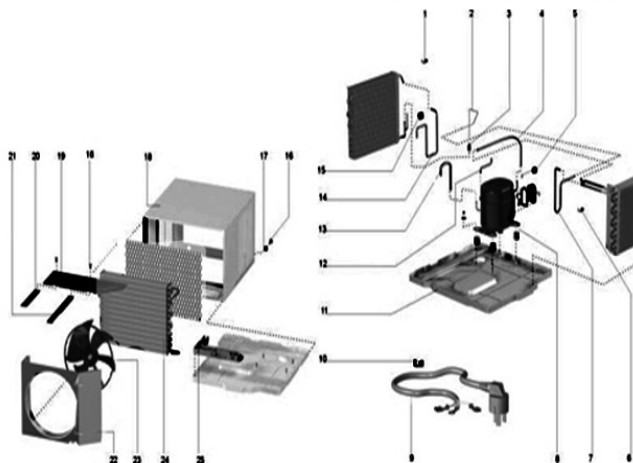
Pos.	Descrição	Qt. Aplic.
1	EVAPORADOR	1
2	CÂMARA EVAPORADOR	1
3	TAMPA CÂMARA EVAPORADOR	1
4	PARAFUSO AB 3,9 X 10	16
5	ABRACADERA PLÁSTICA	1
6	CAPACITOR DUPLO 50-6MF X 250V	1
7	VENTONHA	1
8	EVOLUTA	1
9	TRAVESSA SUPERIOR	2
10	DIVISÃO VERTICAL	1
11	TUBO DESCARGA	1
12	TUBO SUÇÃO	1
13	TUBO SUB-RESFRIAMENTO	1
14	TUBO SUB-RESFRIAMENTO**	1
15	TUBO CAPILAR	1
16	ABRACADERA MENOR (EXCLUÍDO ESTOQUE)	1
17	ABRACADERA METÁLICA HELICE/VENTONHA	2
18	PRESLHA CABOS	1
19	GUARNIÇÃO ENTRE TUBOS	1
20	PARAFUSO 3,9 X 10	6
21	TUBO COMPLEMENTO CAPILAR	1
22	TUBO SAÍDA EVAPORADOR	1
23	AMORTECEDOR MOTOVENTILADOR	2
24	MOTOVENTILADOR 127V/60HZ	1
25	MOTOVENTILADOR 220V/60HZ	1
26	SUPORTE MOTOVENTILADOR	1
27	HELICE	1
28	CÂMARA CONDENSADOR	1
29	GRAMPO CONDENSADOR 2 FILTROS	1
30	TUBO SAÍDA CONDENSADOR**	1
31	TUBO SAÍDA CONDENSADOR	1
32	TUBO SAÍDA CONDENSADOR	1
33	CONDENSADOR CURVO	1
34	TUBO ENTRADA CONDENSADOR	1

Aparelho de ar-condicionado de janela - Gabinete (Vista Externa)

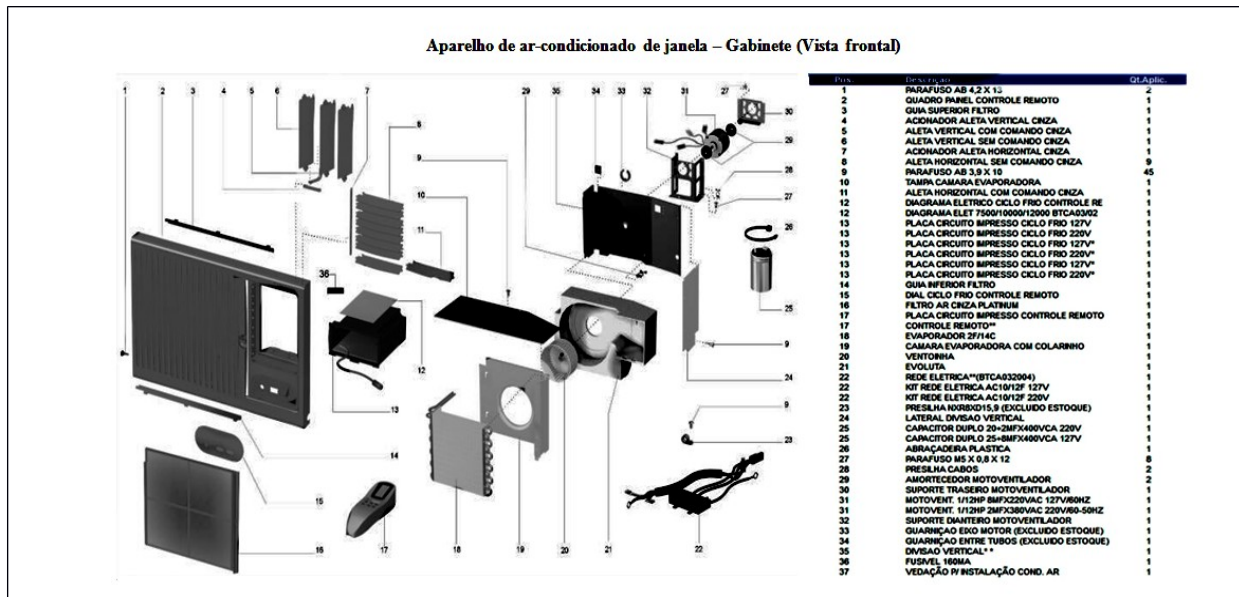


Pos.	Descrição	Qt. Aplic.
1	CABO ELÉTRICO	1
2	PARAFUSO 3,5 X8 AUTO-ATARRAXANTE	2
3	CALHA EVAPORADOR	1
4	CALHA EVAPORADOR	1
5	AMORTECEDOR COMPRESSOR	3
6	ARRUELA FIXAÇÃO COMPRESSOR ROTATIVO	3
7	PORCA FIXAÇÃO COMPRESSOR ROTATIVO	3
8	PROTECTOR TÉRMICO RG141DS851 127V	1
9	PROTECTOR TÉRMICO RG141ES851 220V	1
10	COMPRESSOR RG141DA 127V/60HZ	1
11	COMPRESSOR RG141ER 220V/60HZ	1
12	PARAFUSO FH MM 4X5 AB ZA	1
13	ARRUELA NYLON P/ PARAFUSO TRANSPORTE	2
14	ISOLANTE TELA GABINETE	1
15	TELA PROTEÇÃO CONDENSADOR	1
16	REBITE 3,2X7,4 AS	8
17	APOIO INTERNO TELA	4
18	GABINETE	1
19	CABO ELÉTRICO	1
20	REDE ELÉTRICA	1
21	CHASSI TECUMSEH	1
22	CHASSI HITACHI	1
23	CHASSI	1
24	PARAFUSO FIXAÇÃO COMPRESSOR ROTATIVO	3
25	PORCA SEXTAVADA M4 X 3,2	2
26	CABO TERRA GABINETE	1
27	PARAFUSO ATERRAMENTO M4X10 (BTLA01/2005)	1
28	REFORÇO CABO ELÉTRICO	1
29	FUNDO CABO ELÉTRICO	1
30	PLACA POTÊNCIA EAE FRIO	1

Aparelho de ar-condicionado de janela - Gabinete (Vista Posterior)



Pos.	Descrição	Qt. Aplic.
1	PRESLHA MAIOR P/TUBO DESCARGA	1
2	TUBO CAPILAR	1
3	FILTRO GAS SAÍDA D8,7	1
4	TUBO SUÇÃO RETO MAIOR	1
5	PROTECTOR TÉRMICO 127V/60HZ	1
6	PROTECTOR TÉRMICO 220V/60HZ	1
7	PRESLHA TUBO COMPLEMENTO CAPILAR	1
8	TUBO COMPLEMENTO CAPILAR MAIOR	1
9	COMPRESSOR AK100DS11 127V	1
10	COMPRESSOR AK100ES 220V	1
11	CABO ELÉTRICO** (BTCA032004)	1
12	PRENSA CABO	1
13	CHASSI CP MAIOR COMPRESSOR AK	1
14	TUBO CARGA GAS S/BOQUILHA	1
15	TUBO ENTRADA SILENCIADOR MAIOR	1
16	BORRACHA ANTIVIBRAÇÃO (EXCLUÍDO ESTOQUE)	1
17	PARAFUSO AB 3,9 X 10	45
18	ARRUELA NYLON P/ PARAFUSO TRANSPORTE	2
19	GABINETE CJ ELECTROLUX	1
20	TAMPA CÂMARA CONDENSADORA	1
21	TRAVESSA MENOR	1
22	TRAVESSA MAIOR	1
23	CÂMARA CONDENSADORA	1
24	HELICE	1
25	CONDENSADOR 2F/15C COM TUBO SAÍDA	1
26	CALHA EVAPORADOR	1



Fonte: ELECTROLUX DA AMAZÔNIA LTDA, 2012.

Dentre os elementos que compõe os aparelhos de ar-condicionado de janela, destacam-se (PEREIRA, 2007; GONÇALVES, 2005):

- O painel, de poliestireno que fica localizado na parte externa frontal do aparelho de ar-condicionado de janela, fixado por dois parafusos. Nele é acoplado o filtro de ar e os botões de comando;
- O compressor, cuja função é fornecer um diferencial de pressão para que o fluido de trabalho possa evaporar a uma temperatura inferior a temperatura de condensação, trocando o calor de uma fonte fria para uma fonte quente. É o componente mecânico de maior complexidade do sistema de condicionamento de ar, e junto com o evaporador e o condensador constitui o sistema de refrigeração do aparelho de ar-condicionado de janela;
- O evaporador, elemento aonde o gás é expandido e circula a baixa pressão, fazendo o fluido de trabalho passar do estado líquido para o de vapor. Pode se apresentar na forma de tubos lisos, tubos aletados e superfícies de placa;
- O condensador, que juntamente com o evaporador compõem os trocadores de calor. Nele o refrigerante passa do estado gasoso para o estado líquido através do processo de liquefação. A troca de calor ocorre entre o gás e as fontes quentes (condensador) e frias (evaporador);
- O ventilador elétrico, que consiste em um motor com eixo duplo com o objetivo de forçar a passagem do ar. De um lado coloca-se o ventilador do evaporador e do outro, o ventilador do condensador. Juntos, o motor elétrico, o ventilador do evaporador, o ventilador do

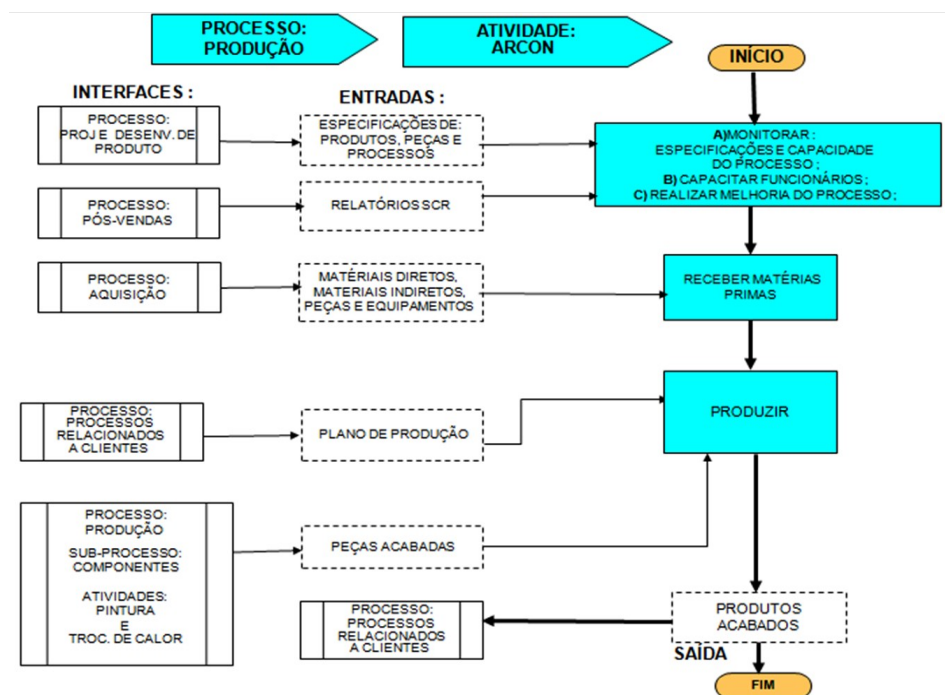
condensador e a câmara de ventilação, constituem o sistema de ventilação do aparelho de ar-condicionado de janela;

- O termostato, que controla a temperatura do ambiente, desligando o compressor quando o ambiente atinge a temperatura selecionada, e religa novamente quando estiver acima da desejada, caracterizando assim, o ciclo de refrigeração;
- Os dispositivos de expansão, formados pelos tubos capilares, pelas válvulas de expansão e pelos tubos de orifícios, com o propósito de reduzir a pressão do gás refrigerante no estado líquido.

4.4 O processo produtivo de aparelhos de ar-condicionado de janela

A produção de aparelhos de ar-condicionado é o cerne desse trabalho e o objeto de estudo da pesquisa, que pretendeu avaliar os impactos ambientais gerados pela manufatura desses aparelhos. Diante disso, foi discutido e analisado somente o processo produtivo de aparelhos de ar-condicionado de janela. Os dados utilizados para a avaliação de impacto se referem à produção de condicionadores de ar de janela da Electrolux da Amazônia Ltda, no ano de 2011. A Figura 18 mostra o fluxograma geral da manufatura, detalhando processos e atividades envolvidos na produção de aparelhos de ar-condicionado de janela.

Figura 18: Fluxograma geral do processo produtivo de aparelhos de ar-condicionado de janela



Fonte: Adaptado de ELECTROLUX DA AMAZÔNIA LTDA, 2012.

A Electrolux da Amazônia Ltda possui um processo de produção voltado para a fabricação de aparelhos de ar-condicionado de Janela, montagem de condicionadores de ar *split* e fornos micro-ondas. Além desses produtos, são manufaturados também, gabinetes de condicionador de ar de janela e cavidades para fornos micro-ondas.

A capacidade máxima anual do processo produtivo de condicionadores de ar da empresa é de 420.000 (quatrocentos e vinte mil) unidades de aparelhos de ar-condicionado do tipo janela e 817.520 (oitocentos e dezessete mil, quinhentos e vinte) unidades de condicionadores de ar *split*. Como a empresa não opera com sua capacidade máxima de manufatura desses aparelhos, no ano de 2011 foram produzidos 275.783 (duzentos e setenta e cinco mil, setecentos e oitenta e três) aparelhos de ar-condicionado de janela e 654.397 (seiscentos e cinquenta e quatro mil, trezentos e noventa e sete) condicionadores de ar *split*. Como se pode notar, o volume de produção de aparelhos de ar-condicionado *split* é bem superior se comparado ao volume de fabricação de condicionadores de ar de janela. Esses dados refletem a situação atual de mercado para esses tipos de aparelhos. Com a troca de tecnologia, é notória a preferência pelos condicionadores de ar do tipo *split*.

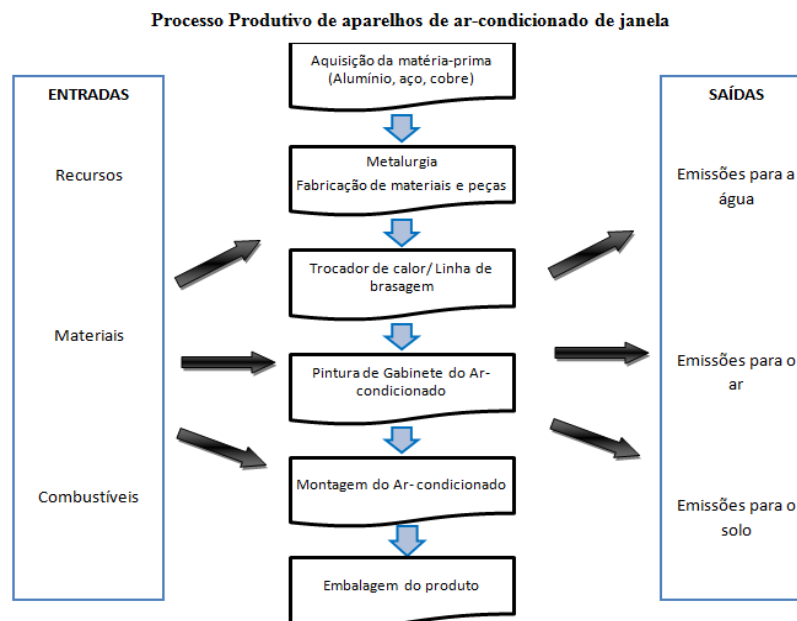
A Electrolux conta com 543 (quinhentos e quarenta e três) funcionários treinados e capacitados para a produção de aparelhos de ar-condicionado. Além desses, conta ainda com mão de obra terceirizada, empregada na separação, coleta e segregação dos resíduos gerados na produção. A terceirização da mão de obra reduz o custo do trabalho e resolve gargalos da manufatura.

Para o controle de qualidade do processo e do produto, a empresa utiliza inspeções e testes nos aparelhos de ar-condicionado e nas etapas que constituem a manufatura. Dentre os testes e inspeções de qualidade, destacam-se os ensaios para garantir as boas condições das peças produzidas na metalurgia; o monitoramento do processo de fabricação de evaporadores e condensadores, através de medidas de teor de resíduo de óleo e teor de resíduos sólidos em componentes, realizados no trocador de calor; as medidas de pH nas águas dos tanques de lavagem e testes diversos como cura, flexibilidade e resistência da tinta a ser aplicada na pintura do gabinete; e as inspeções que incluem o atendimento da segurança e normas requeridas, a verificação do desempenho e funcionamento dos aparelhos de ar-condicionado produzidos e a verificação visual para checar manual de instrução, lista de serviços autorizados, acessórios fornecidos com o produto, partes pintadas, serigrafadas ou tampografadas, porcas e parafusos, partes metálicas, reparos e embalagem.

A tecnologia empregada na produção engloba as técnicas de Controle da Qualidade Total, “5S”, *Just in Time*, Mini-fábrica e *Kanban*. Também é empregado o sistema CAD (Projeto Assistido por Computador) nos setores de Engenharia de Produto para o desenho de componentes, na Engenharia Industrial para o layout de plantas e desenvolvimento de projetos de automação, e na Engenharia de Processo para o layout operacional e projetos de automação. No projeto de produtos o CAD é utilizado juntamente com o *software* CATIA para atuar no desenvolvimento de produtos.

O sistema de produção de aparelhos de ar-condicionado de janela é um conjunto de etapas e operações sucessivas para a industrialização do produto e as linhas de produção são programadas conforme as especificações e características do modelo a ser produzido. De acordo com a Figura 19, as fases de produção dos aparelhos de ar-condicionado incluem aquisição de matérias-primas, Metalurgia ou Estampagem das peças, Pintura de gabinete, Trocador de calor ou Brasagem, Linha de Montagem, Embalagem do produto e Distribuição.

Figura 19: Fases do processo produtivo de aparelhos ar-condicionado de janela



Fonte: Elaboração própria.

A primeira etapa do processo envolve a Aquisição de matérias-primas e insumos para a produção de aparelhos de ar-condicionado. As principais matérias-primas utilizadas na fabricação desses aparelhos são alumínio, cobre, aço, água e energia. Dentre os insumos estão os cabos e redes elétricas, componentes de borracha, componentes elétricos e eletrônicos, componentes metálicos, componentes plásticos, compressor, painéis e circuitos impressos, gás

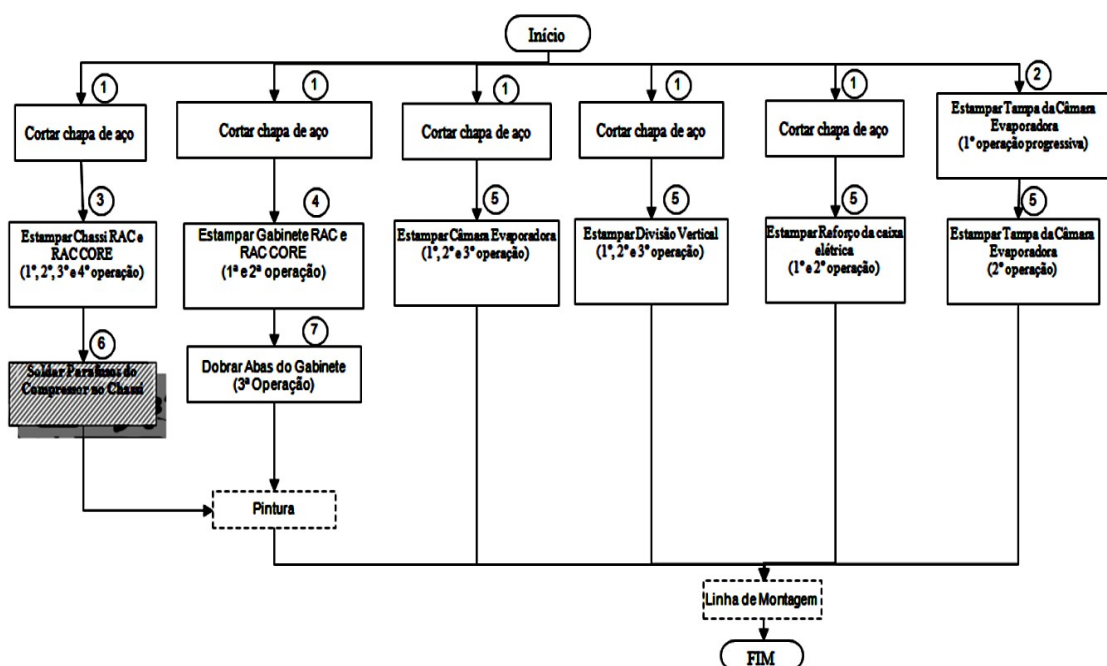
R22, gás GLP, material de isolamento, material de embalagem, motor elétrico, papel, sistema de refrigeração, tintas, solventes, termostato e *timers*.

Vale ressaltar que a Eletrolux da Amazônia Ltda não produz matéria-prima. As matérias-primas e os insumos usados na produção tem origem nacional e internacional. O Brasil e a China são os principais fornecedores da empresa.

Em geral, as matérias-primas empregadas para fabricação de aparelhos de ar-condicionado de janela são as mesmas utilizadas para o condicionador de ar *split*. Os principais produtores de aparelhos de ar-condicionado utilizam as mesmas matérias-primas para os seus processos de fabricação de condicionadores de ar.

A segunda fase do sistema de produção é a Metalurgia, destinada ao preparo das peças necessárias à produção dos aparelhos de ar-condicionado de janela. Essa etapa, conforme expõe a Figura 20, consiste no corte de chapas de aço; na estampagem do chassi, gabinete, câmara evaporadora, divisão vertical, reforço da caixa elétrica e tampa da câmara evaporadora; e na dobra das abas do gabinete. Após o corte da chapa de aço, estampagem do chassi e soldagem dos parafusos do compressor, o chassi é direcionado para a pintura. O mesmo acontece com o gabinete que depois da estampagem é encaminhado para o pré-tratamento e pintura.

Figura 20: Fluxograma da etapa de Metalurgia da produção de condicionadores de ar de janela



Fonte: ELECTROLUX DA AMAZÔNIA LTDA, 2012.

O Trocador de calor ou Linha de brasagem é a terceira etapa do processo e tem por objetivo preparar o condensador e o evaporador para a fabricação de aparelhos de ar-condicionado de janela. A Figura 21 apresenta o fluxograma do Trocador de calor e as atividades desenvolvidas para o preparo do condensador e evaporador na produção de aparelhos de ar-condicionado de janela.

Figura 21: Fluxograma técnico do Trocador de calor



Fonte: ELECTROLUX DA AMAZÔNIA LTDA, 2012.

Essa fase inicia com a estampagem das aletas e conformação dos tubos de cobre em serpentina que são montadas nos trocadores de calor. Os tubos de entrada e saída são montados e soldados e as falhas de solda são retocadas. Em seguida ocorre a inserção dos anéis de solda nas curvas de ligação e insuflamento de nitrogênio para limpeza do condensador e do evaporador, com o cuidado de purgar todo o nitrogênio antes que o produto siga para a estufa de secagem. Por fim, o condensador e o evaporador são pressurizados para o transporte até a linha de montagem. Esses elementos são os produtos finais do subsistema de trocador de calor e são produtos intermediários do processo produtivo de aparelhos de ar-condicionado de janela.

A Pintura do gabinete é a quarta etapa da produção dos aparelhos de ar-condicionado de janela. A Figura 22 mostra as operações executadas nessa etapa da manufatura.

Figura 22: Fluxograma da Pintura de gabinete



Essa fase é destinada aos gabinetes que vieram da Metalurgia para serem pintados. Antes de receberem a tinta os cestos são abastecidos com os gabinetes que vão passar por banhos sucessivos para preparar a peça para a pintura. A primeira operação é o banho desengraxante, seguida do banho pós-desengraxante, que consiste de três lavagens com água para retirada total dos resíduos dessa substância. O gabinete passa pelo banho com nano cerâmico e novamente, dois banhos com água para lavagem pós-nano cerâmico.

Após os banhos consecutivos, os gabinetes passam para operação de secagem das peças e são postos no transportador aéreo e conduzidos para pintura. Depois de efetuada a pintura, esses elementos passam pelo processo de cura da tinta e inspeção da peça. As peças em conformidade seguem para a serigrafia e depois para a Linha de montagem. Os que não forem aprovados são encaminhados para o retrabalho de produtos não conformes.

A Linha de montagem é a quinta etapa da produção de aparelhos de ar-condicionado de janela e recebem todos os produtos intermediários e os coprodutos preparados pelas linhas de produção anteriores. Essa etapa se inicia com o chassi pintado e a montagem da caixa elétrica para condicionadores de ar mecânico ou eletrônico, e finda com o produto final do processo produtivo: o aparelho de ar-condicionado de janela.

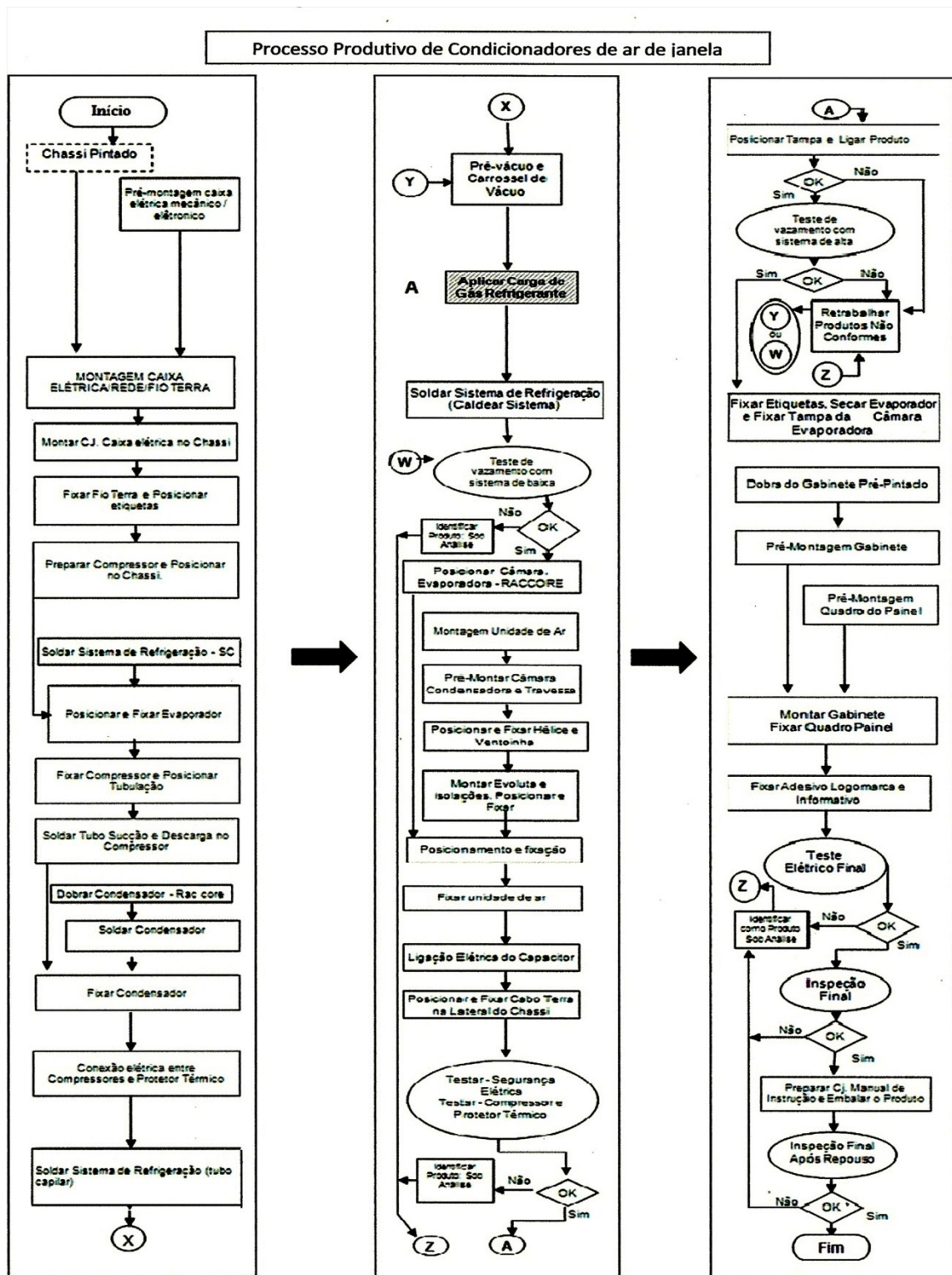
A caixa elétrica é acoplada no chassi que é preparado para receber o compressor, o evaporador e o condensador. Após posicionar e fixar esses componentes é feita a conexão elétrica do sistema de refrigeração. Em seguida, aplica-se a carga do gás refrigerante e posiciona-se a hélice e a ventoinha do sistema de ventilação. O cabo terra é posicionado na lateral do chassi e são realizados teste de vazamento do gás, teste de segurança elétrica e teste de funcionamento do compressor e do protetor térmico.

O produto segue para o posicionamento e fixação da tampa e secagem do evaporador, para depois passar pelo processo de identificação e etiquetagem. A operação seguinte é a dobra, pré-montagem e montagem do gabinete. O painel é fixado no gabinete e o produto recebe o adesivo com a logomarca da empresa.

Finalmente, é realizado o teste elétrico e a inspeção final. O aparelho de ar-condicionado é preparado para receber o conjunto com manual de instrução e acessórios, e é encaminhado para a embalagem.

A Figura 23 mostra o fluxograma técnico da Linha de montagem de aparelhos de ar-condicionado de janela.

Figura 23: Fluxograma técnico da Linha de montagem do processo produtivo de aparelhos de ar-condicionado de janela



Fonte: ELECTROLUX DA AMAZÔNIA LTDA, 2012.

A Embalagem do produto é a sexta fase do processo produtivo de aparelhos de ar-condicionado de janela. Essa etapa embala o produto que sai da Linha de montagem e o prepara para o transporte e armazenagem, até que saia da fábrica para a distribuição.

Os materiais de embalagem utilizados pela empresa incluem polietileno de baixa densidade, poliestireno expandido, fita adesiva, papelão, plásticos e grampos. Depois de embalados os aparelhos de ar-condicionado são acomodados em *pallets* para garantir a qualidade do produto, na etapa de transporte.

A sétima e última etapa da produção é a distribuição do produto. Depois de embalado, o produto segue para os depósitos, aonde permanecem armazenados até serem encaminhados para os centros de distribuições da empresa. Parte dos aparelhos de ar-condicionado produzido fica no Estado do Amazonas e o restante da produção segue para a Central de Distribuição da Electrolux, em São Paulo. Vale ressaltar que o transporte interno de produtos e coprodutos é realizado por meio de empilhadeiras, enquanto que o externo é feito por carretas e caminhões.

Todo processo gera impactos ao meio ambiente, uma vez que utiliza recursos naturais como matéria-prima e produz resíduos e emissões advindos da manufatura de seus produtos. Os resíduos originados do processo produtivo de aparelhos de ar-condicionado da empresa são classificados em resíduos Classe I, que são os resíduos perigosos ao meio ambiente, e Classe 2, considerados pouco perigosos. Os primeiros são os resíduos que apresentam periculosidade, inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade. Nessa classe estão os resíduos líquidos como borra da Estação de Tratamento de Efluente (ETE), borra de tinta, óleo contaminado, solvente contaminado, lodo da separação água e óleo, dentre outros. Já os resíduos Classe II são aqueles denominados não inertes, que podem apresentar biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água. São exemplos desses resíduos o papel, o papelão, os plásticos, a manta plástica, os materiais elétricos (fio de cobre, reator, disjuntor, fusível, bobina, calha, etc.), equipamentos de proteção individual, a madeira, o poliuretano (espuma), o compressor, as hélices e a ventoinha, a borracha, o metal ferroso e não ferroso e os resíduos não recicláveis.

Os principais resíduos sólidos industriais do processo produtivo dos aparelhos de ar-condicionado são: resíduos de borra de tinta, resíduos borracha, resíduos compressor, resíduos de isopor, resíduos de fita plástica, resíduos de lodo químico, resíduos de luvas e trapos contaminados, resíduos de madeira, resíduos não recicláveis, resíduos de óleo contaminado,

resíduos de papel e de papelão, resíduos de pó de serra contaminado, resíduos de poliuretano, resíduos de tinta e solvente, sucata de aço, sucata de alumínio, bombonas vazias, sucata de cobre, sucata de fio de cobre com capa, sucata de placas de componentes, sucata de plásticos, sucata de tinta pó, e resíduos de borra da Estação de Tratamento de Efluentes.

Os resíduos sólidos da produção de aparelhos de ar-condicionado de janela, em geral, são os mesmos gerados na produção de condicionadores de ar do tipo *split*, com exceção dos resíduos de borra da Estação de Tratamento de Efluentes, resíduos de borra de tinta, resíduos de lodo químico, resíduos de tinta e solvente, bombonas vazias e sucata de tinta pó, que são exclusivos da produção de aparelhos de ar-condicionado de janela.

Os efluentes industriais do processo produtivo dos aparelhos de ar-condicionado de janela as águas de lavagens ácida e alcalina e do banho desengraxante, as águas de lavagem pós-desengraxante e pós-nano cerâmico, as águas oleosas, as águas com produtos químicos, e as águas residuárias de análises químicas do processo.

Quanto às emissões atmosféricas, os resíduos principais são o material particulado, os compostos orgânicos voláteis e o monóxido de carbono.

A Empresa desenvolve ações proativas visando eliminar ou minimizar os impactos ambientais gerados no processo produtivo de aparelhos de ar-condicionado de janela e em todas as outras atividades da empresa. Dentre essas atividades destaca-se o programa de coleta e encaminhamento desses resíduos para a reciclagem e reaproveitamento.

4.5 Análise do Ciclo de Vida em aparelhos de ar-condicionado de janela

O estudo de ACV permite identificar as entradas de matéria e energia do meio ambiente para o ciclo de vida do produto e as saídas de rejeitos materiais e energéticos do ciclo de vida para o meio ambiente.

A Análise do Ciclo de Vida em aparelhos de ar-condicionado de janela foi realizada em 4 (quatro) etapas distintas, conforme preconiza a ABNT NBR ISO 14040:2009 e os parâmetros do *software* SimaPro 7.3. São elas: Definição de objetivo e escopo, Análise de Inventário, Avaliação de impacto e Interpretação. Essas etapas estão descritas na seção 2.3.5 do Capítulo 2, desse trabalho.

4.5.1 Definição do objetivo e escopo

A definição do objetivo e escopo abrange o planejamento do trabalho, os critérios, os aspectos e as características relevantes do estudo de ACV. Tais elementos serão discutidos a seguir.

4.5.1.1 Objetivo

A Análise do Ciclo de Vida realizada nesse estudo teve por objetivo, identificar e avaliar os impactos ambientais gerados pelo processo produtivo de aparelhos de ar-condicionado de janela, tendo por base o inventário do ciclo de vida, elaborado a partir das entradas de recursos e energia, e das saídas de resíduos e emissões associadas à manufatura desses aparelhos.

Além da avaliação dos impactos ao meio ambiente, a ACV disponibilizou ao setor produtivo de aparelhos de ar-condicionado do Polo Industrial de Manaus, a identificação dos materiais e das etapas críticas do processo que contribuem expressivamente para os impactos ambientais, bem como os dados referentes aos recursos utilizados, ao consumo de energia e as emissões de poluentes envolvidos na cadeia produtiva, oferecendo subsídios para auxiliar na eliminação ou redução desses impactos, na definição de prioridades, e no desenvolvimento de produtos e processos de produção de aparelhos de ar-condicionado.

Dessa forma, esse estudo se justifica pela necessidade de oportunizar a melhoria de desempenho ambiental de produtos e processos relacionados à manufatura de aparelhos de ar-condicionado; de contribuir para a construção de bases de dados nacionais para o desenvolvimento de ACV, condizentes com a realidade das indústrias brasileiras do setor de eletroeletrônicos; de aprimorar e propagar os estudos de ACV; e de disponibilizar um inventário de ciclo de vida de condicionadores de ar e seu sistema de produção.

Os resultados da Análise do Ciclo de Vida foram direcionados para usuários da ferramenta ACV; aos empresários e profissionais ligados à indústria de aparelhos de ar-condicionado; e aos pesquisadores e acadêmicos que se interessem pelo tema.

4.5.1.2 Escopo

Para assegurar a abrangência do estudo de ACV, o escopo inclui os seguintes aspectos:

4.5.1.2.1 Sistema de produto

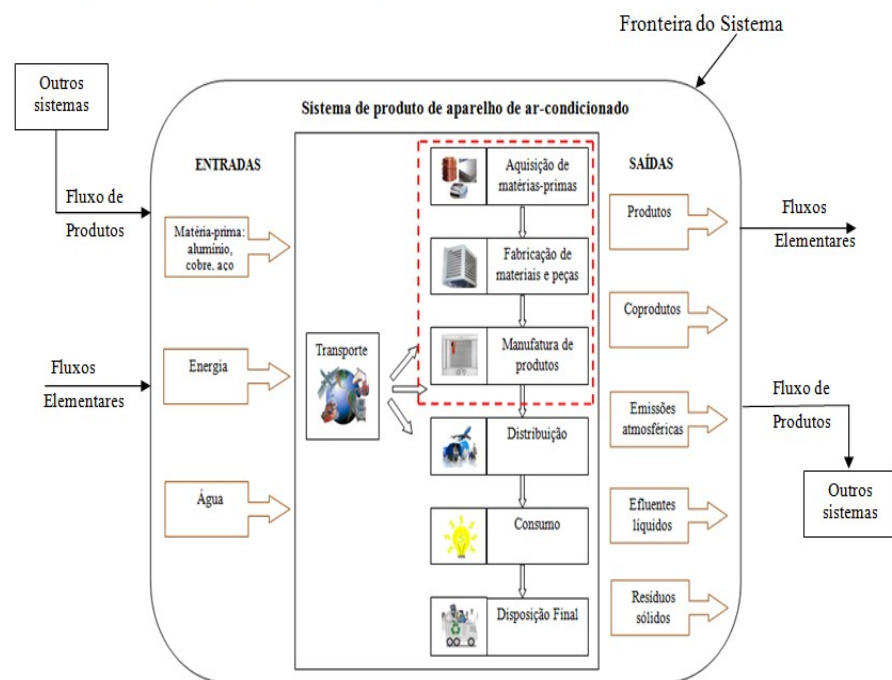
Segundo a ABNT NBR ISO 14040:2009, sistema de produto é o conjunto de processos elementares, com fluxos de entrada e saída de matérias, energia, e emissões, desempenhando uma ou mais funções definidas e que modela o ciclo de vida de um produto.

Nesse contexto o sistema de produto definido para estudo é o processo produtivo de aparelhos de ar-condicionado de janela da empresa Electrolux da Amazônia Ltda, no ano de 2011. A empresa está localizada no Polo Industrial de Manaus, no Estado do Amazonas.

Para identificar e avaliar os impactos ambientais do sistema de produção dos aparelhos de ar-condicionado adotou-se para o estudo de ACV, uma abordagem do tipo “*gate to gate*” ou “portão ao portão”. A análise considera desde a aquisição de matérias-primas e insumos no início do processo produtivo, até a embalagem do produto final para distribuição, delimitando os limites do estudo aos portões da fábrica (portão de entrada e portão de saída).

A Figura 24 mostra a delimitação do sistema de produto para a ACV em aparelhos de ar-condicionado. A linha vermelha tracejada indica as etapas do ciclo de vida dos aparelhos de ar-condicionado incluídos no estudo.

Figura 24: Sistema de produto de aparelhos de ar-condicionado



Fonte: Adaptado de CHEHEBE, 2002.

4.5.1.2.2 Função do sistema de produto

A função do sistema de produto é produzir uma determinada quantidade de aparelhos de ar-condicionado de janela, em certo período de tempo. Para o sistema de produto em questão destaca-se a função de produzir 420.000 unidades de aparelho de ar-condicionado de janela no período de 1 (um) ano. Esse montante traduz a capacidade máxima anual de produção de aparelhos de ar-condicionado.

4.5.1.2.3 Unidade funcional

Como nem sempre a capacidade máxima de produção é atingida em um processo produtivo, a unidade funcional definida para o sistema de produto é a quantidade de 275.783 unidades /ano de aparelhos de ar-condicionado de janela produzidos. Esse valor representa a quantidade de aparelhos de ar-condicionado necessária para o cumprimento da função do sistema, no período de 1 (um) ano.

4.5.1.2.4 Fluxo de referência

Com o intuito de facilitar o cálculo e a análise dos impactos ambientais envolvidos no sistema produtivo de aparelhos de ar-condicionado de janela, o fluxo de referência adotado para o estudo consiste na quantidade de aparelhos de ar-condicionado de janela, no ano de 2011, ou seja, 275.783 aparelhos/ano. Para a coleta de dados foram considerados somente os dados relativos às entradas e saídas de material, de energia e emissões associadas à produção de condicionadores de ar de janela, no ano em questão.

4.5.1.2.5 Fronteiras do sistema

De acordo com o objetivo do trabalho e para auxiliar na identificação dos fluxos elementares associados ao sistema de produto, o processo produtivo de aparelhos de ar-condicionado de janela, foi dividido em unidades elementares de processo ou subsistemas, representados pelas etapas de produção. Os processos elementares consistem no menor elemento considerado na análise de inventário do ciclo de vida, para o qual, os dados de entrada e saída são quantificados. Esses dados incluem o uso de recursos e as emissões para o ar, a água e o solo.

O processo produtivo dos aparelhos de ar-condicionado de janela, da Electrolux da Amazônia Ltda é constituído por 7 (sete) subsistemas. São eles: aquisição de matérias-primas, linha de estampagem das peças ou metalurgia, linha de brasagem ou trocador de calor, linha de pintura de gabinete, linha de montagem, linha de embalagem e distribuição do produto.

Como o objetivo do trabalho é a avaliação ambiental do processo produtivo, e em decorrência do difícil acesso aos dados e da falta de tempo para desenvolver um estudo detalhado para coletá-los, os subsistemas de extração de matérias-primas, transporte e distribuição, não foram incluídos no estudo. Os dados de transporte considerados estão relacionados somente ao transporte interno. Na Electrolux da Amazônia Ltda, o transporte de matérias-primas, de funcionários e de produtos é realizado por serviço terceirizado.

Os estágios de distribuição, consumo e disposição final do produto extrapolam os limites de abrangência do estudo, que é o portão de saída da empresa pesquisada, portanto, também não foram incluídos na análise. Os limites foram determinados com base no objetivo do trabalho e nos dados disponíveis.

Algumas entradas e saídas do processo produtivo de aparelhos de ar-condicionado não foram consideradas por falta de dados da empresa, ou da dificuldade em inseri-los na análise do *software* SimaPro 7.3. Essas entradas e saídas foram especificadas na Análise de Inventário de Ciclo de Vida, correspondente ao item 4.5.2 do trabalho.

Vale ressaltar que a energia consumida na fabricação dos aparelhos de ar-condicionado de janela é oriunda de usinas hidroelétricas que abastecem a cidade de Manaus, através da Concessionária Amazonas Energia. Já a água utilizada no processo é fornecida pelos poços artesianos que suprem as necessidades da empresa. Esses dados foram empregados na construção dos fluxos de entrada de recursos e saída de resíduos, bem como no balanço de massa e energia relacionadas ao sistema de produto.

4.5.1.2.6 Procedimentos de alocação

O procedimento de alocação consiste na repartição de fluxos de entrada ou saídas de um processo ou sistema de produto entre o sistema selecionado para estudo e outro sistema de produto (ABNT NBR ISO 14040:2009).

No estudo do sistema de produto definido nesse trabalho, não se observou a necessidade de adotar procedimentos de alocação, uma vez que o processo produtivo apresenta a função única de produzir aparelhos de ar-condicionado de janela e por isso, foram consideradas para análise somente as etapas principais da produção.

4.5.1.2.7 Categorias de impactos selecionadas e metodologia de avaliação de impactos

A Análise do Ciclo de Vida em aparelhos de ar-condicionado de janela foi concretizada por meio da utilização do *software* SimaPro 7.3 e de seus bancos de dados. Para a Avaliação de Impactos do Ciclo de Vida, o método empregado foi o Eco-indicator-99, versão igualitária, que agrupa esses impactos nas categorias de danos à saúde humana, à qualidade do ecossistema e aos recursos.

A categoria de impactos relativos à saúde humana abrange o Efeito carcinogênico, o Efeito respiratório orgânico, o Efeito respiratório inorgânico, a Mudança climática, a Radiação Iônica, e a Depleção da camada de ozônio. A categoria de danos à qualidade do

ecossistema compreende a Ecotoxicidade, a Acidificação, a Eutrofização e o Uso da terra. Já os danos aos recursos envolvem as categorias Extração de recursos minerais e Combustíveis fósseis.

4.5.1.2.8 Requisitos de dados

Os requisitos de qualidade dos dados utilizados nessa análise foram definidos em função dos objetivos traçados para esse estudo. Os dados de maior representatividade para a Análise do Ciclo de Vida são os chamados dados primários oriundos do próprio sistema do produto. A qualidade dos resultados depende diretamente da qualidade dos dados utilizados na Análise do Ciclo de Vida.

Nesse estudo, os dados primários para a aplicação da ACV foram coletados na Electrolux da Amazônia Ltda e os dados secundários foram adicionados pelas bases de dados disponíveis do SimaPro 7.3. Na empresa os dados foram coletados através de análise documental, visitas técnicas, entrevistas e aplicações de questionários com a Coordenadora do Sistema de Gestão Integrada, o Químico responsável e funcionários do setor de manufatura.

Como a empresa não possuía dados diretos de inventário por unidade de processo, trabalhou-se com uma estimativa de dados, para a construção dos fluxos de entrada e saída de materiais, energia e emissões envolvidas em cada sistema elementar do processo produtivo de aparelhos de ar-condicionado.

4.5.1.2.9 Limitações

Na realização do estudo foram identificadas algumas limitações significativas para o desenvolvimento da Análise do Ciclo de Vida. Os dados disponíveis nos *softwares* específicos de ACV refletem a situação de países bem diferentes do Brasil, o que requer sempre uma adaptação desses resultados a realidade do País.

No decorrer do trabalho e das pesquisas, observou-se grande deficiência de dados, literatura e informações sobre os aparelhos de ar-condicionado, suas características e sua produção. Não foi encontrada nenhuma referência a estudos de Análise de Ciclo de Vida relacionada a esse produto, em consequência disso, também não se encontra muitos dados relacionados a esses aparelhos, nas bases de dados dos *softwares* de ACV. Essa foi uma das maiores dificuldades enfrentadas, mas também uma das motivações para a realização desse trabalho.

Todas as empresas fabricantes de aparelhos de ar-condicionado do Polo Industrial de Manaus (8 empresas no total) foram requisitadas para participar da pesquisa. A solicitação foi feita via ofício do Programa de Mestrado em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Amazonas, e e-mails enviados para os responsáveis pela manufatura de produtos das referidas empresas. Somente a Electrolux da Amazônia Ltda respondeu ao documento, acolhendo a pesquisa, disponibilizando dados e oferecendo total apoio para a realização do estudo.

Dentre outros fatores limitantes destacam-se também, a grande quantidade de dados envolvidos no estudo de ACV, a dificuldade de acesso aos dados relativos ao processo de produção e dados da empresa, a subjetividade dos critérios adotados, a falta de recursos financeiros para realizar treinamento de utilização do *software* SimaPro 7.3, e o curto espaço de tempo para coletar dados de qualidade para todas as unidades de processo definidas para a Análise do Ciclo de Vida.

4.5.1.2.10 Tipo de revisão crítica

Para atender ao objetivo do trabalho, a ACV foi usada como uma ferramenta para oportunizar a identificação e avaliação ambiental do processo produtivo de aparelhos de ar-condicionado. Diante disso, vale ressaltar que a Análise do Ciclo de Vida, não é o foco do trabalho, o que torna a revisão crítica não aplicável por ser desnecessária a análise de consistência entre o estudo desenvolvido e os princípios da normatização da avaliação do Ciclo de Vida.

4.5.1.2.11 Tipo e o formato do relatório requerido para o estudo

Conforme menciona o item anterior, os resultados da ACV foram aplicados na identificação e avaliação dos impactos ambientais envolvidos na produção de aparelhos de ar-condicionado de janela. Em função disso, essa dissertação de mestrado teve efeito de relatório final.

4.5.2 Análise de Inventário de Ciclo de Vida (ICV)

A fase de Análise de Inventário de Ciclo de Vida do produto é de suma importância para o desenvolvimento da ACV, pois consiste no levantamento, compilação e quantificação das entradas e saídas associadas ao sistema de produto. Tal fase envolve a descrição detalhada do processo produtivo e de suas unidades de produção; as entradas de recursos naturais e energia; as emissões de resíduos; e os fatores que influenciam no fluxo de operações para a manufatura de aparelhos de ar-condicionado de janela.

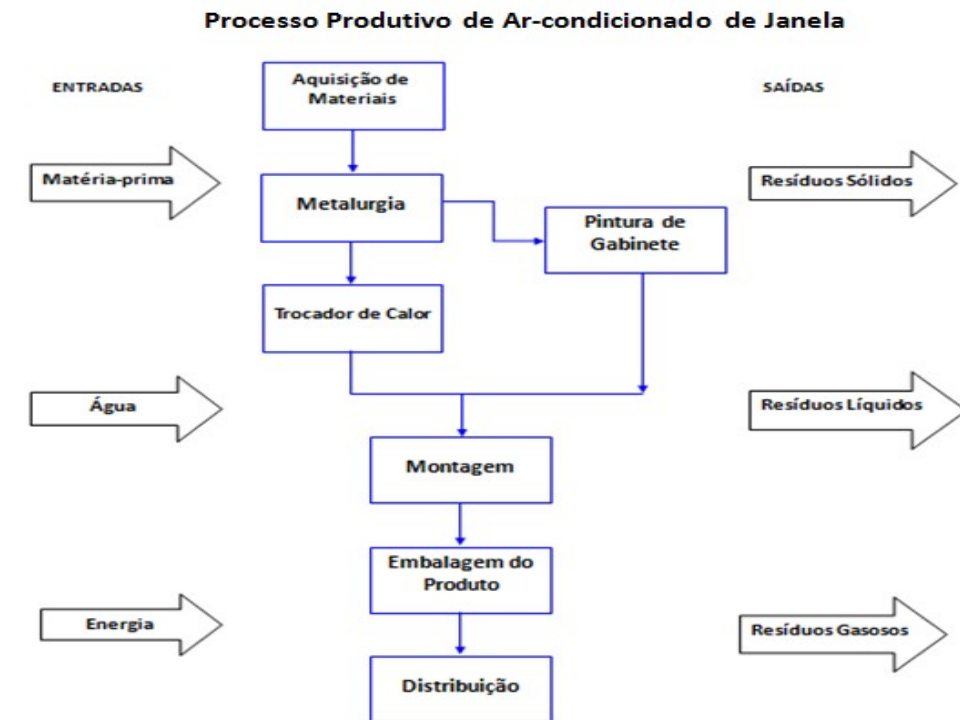
Para o estudo de caso, a Análise de Inventário de Ciclo de Vida foi fundamentada na identificação, registro e quantificação das entradas e saídas de matérias-primas, insumos e emissões de resíduos sólidos, líquidos e gasosos, envolvidos no processo produtivo de aparelhos de ar-condicionado de janela. A condução do ICV foi definida a partir do objetivo e escopo do estudo, considerando dados do ano de 2011, relativos à fabricação de 275.783 aparelhos de ar-condicionado de janela, produzidos na Electrolux da Amazônia Ltda.

Para auxiliar na construção do inventário foi utilizado um recurso computacional específico para a Análise do Ciclo de Vida, o *software* SimaPro 7.3, que possibilita trabalhar com o grande volume de dados coletados na pesquisa e permite incluir informações de matérias-primas, processos e outros ciclos de vida de produto, incorporados nas bases de dados do *software*.

A construção do inventário foi baseada nas quantidades de matérias-primas, insumos e emissões de resíduos do processo produtivo de aparelhos de ar-condicionado de janela, desde a aquisição da matéria-prima para a produção, até a embalagem do produto para armazenagem e distribuição. Os dados incluídos no levantamento de inventário foram obtidos através de entrevistas, aplicação de questionários e avaliação de documentos da Electrolux da Amazônia Ltda. Os dados qualitativos e quantitativos abrangeram as quantidades de recursos, materiais, combustíveis, energia e emissões envolvidas em todo o processo produtivo de aparelhos de ar-condicionado de janela.

A produção de aparelhos de ar-condicionado de janela compreende um conjunto de 7 (sete) processos elementares distintos que se inter-relacionam para a fabricação e preparação de peças e montagem do produto final. A Figura 25 apresenta o esquema simplificado da produção de aparelhos de ar-condicionado, aplicado na Electrolux da Amazônia Ltda.

Figura 25: Fluxo simplificado da produção de ar-condicionado de janela



Fonte: Elaboração própria.

A Electrolux não produz a matéria-prima utilizada na fabricação de seus produtos, em função disso, o processo produtivo de aparelhos de ar-condicionado de janela se inicia com a aquisição de materiais necessários para a manufatura do produto. O Brasil e a China são os principais fornecedores de matérias-primas da empresa. As principais matérias-primas e os insumos utilizados para a produção de aparelhos de ar-condicionado de janela estão especificados na Tabela 2.

Tabela 2: Matérias-primas e Insumos para a produção de aparelhos de ar-condicionado de janela

PROCESSO PRODUTIVO DE APARELHOS DE AR-CONDICIONADO		
Matérias-primas e Insumos	Capacidade Máxima (por ano)	Unidade de Medida (por ano)
Aço	15.802.097	Kg
Alumínio	871.802	Kg
Cobre	8.708.160	Kg
Gás Freon R22	588.440	Kg
GLP	410.736	m ³
Papel	2.415.277	Kg
Tintas e solventes	321.956	Kg
Material de Isolação	4.023.105	Kg
Material de Embalagem	7.996.268	Kg
Componentes de Borracha	3.574.545	Kg
Componentes Metálicos	75.450.901	Kg
Componentes	27.994.154	Kg

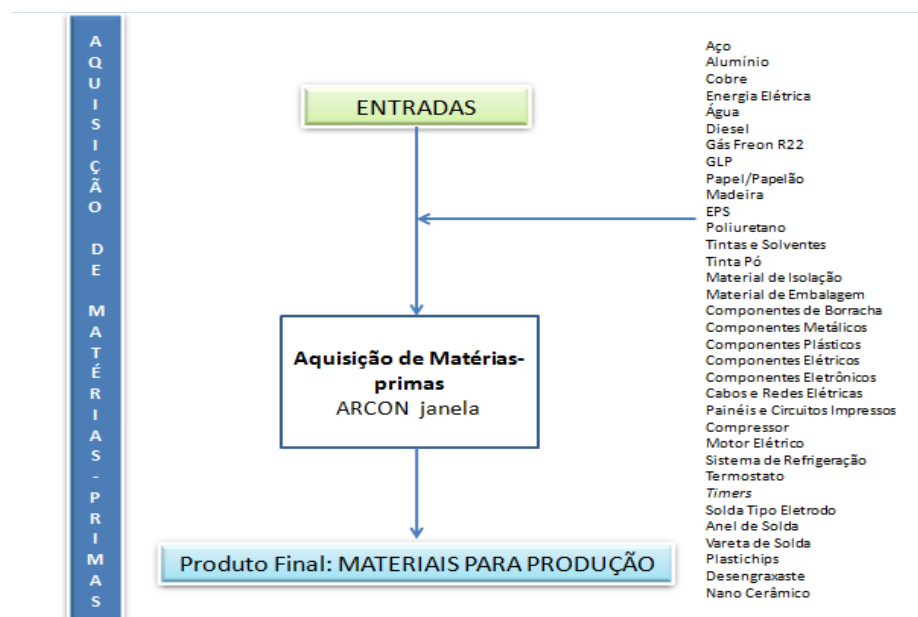
Plásticos		
Componentes Elétricos	4.500.792	Kg
Componentes Eletrônicos	71.995.950	Kg
Cabos e Redes elétricas	1.563.733	Kg
Painéis e Circuitos Impressos	1.457.321	Kg
Compressor	707.053	Kg
Motor Elétrico	1.552.893	Kg
Sistema de Refrigeração	19.425.045	Kg
Termostato	300.654	Kg
Timers	84.962	Kg

Fonte: ELECTROLUX DA AMAZÔNIA LTDA, 2012.

4.5.2.1 Inventário para o subsistema de Aquisição de matérias-primas

O sistema produtivo de aparelhos de ar-condicionado de janela da Electrolux da Amazônia Ltda tem seu início na aquisição de materiais e insumos necessários para produzir uma determinada quantidade de produtos. Essa quantidade é determinada em função do planejamento da produção e da necessidade da empresa em atender a demanda pelo produto. O fluxograma das entradas de matérias-primas, de insumos e de energia; e das saídas de resíduos associadas a essa etapa é apresentado na Figura 26.

Figura 26: Fluxograma do subsistema de Aquisição de matérias-primas



Fonte: Elaboração própria.

Para a avaliação ambiental do processo produtivo de aparelhos de ar-condicionado de janela foram utilizados como base de cálculo, os dados referentes às entradas de matérias-primas e energia, e as saídas de emissões para a água, para o solo e para o ar, associadas à produção de 275.783 condicionadores de ar de janela, no ano de 2011. A Tabela 3 apresenta as quantidades de materiais e insumos empregados na fabricação desses aparelhos.

Tabela 3: Inventário das entradas na produção de aparelhos de ar-condicionado de janela

AQUISIÇÃO DE MATÉRIAS-PRIMAS		
ENTRADAS	Produção 275.783 ARCON/ano	Unidade de Medida (por ano)
Aço	12.649.042	Kg
Alumínio	697.848	Kg
Cobre	6.970.586	Kg
Energia Elétrica	8.416.800	kWh
Água	38.609,62	m ³
Diesel	10.000	L
Gás Freon R22	471.026	Kg
GLP	328.780	m ³
Papel/Papelão	1.933.347	Kg
Madeira	809.120	Kg
EPS (Poliestireno Expandido)	28.490	Kg
Poliuretano	330	Kg
Tintas e solventes	249.217	Kg
Tinta Pó	8.498	Kg
Material de Isolação	3.220.359	Kg
Material de Embalagem	6.400.741	Kg
Componentes de Borracha	2.861.302	Kg
Componentes Metálicos	60.395.884	Kg
AQUISIÇÃO DE MATÉRIAS-PRIMAS (Continuação)		
ENTRADAS	Produção 275.783 ARCON/ano	Unidade de Medida (por ano)
Componentes Plásticos	22.408.370	Kg
Componentes Elétricos	3.602.731	Kg
Componentes Eletrônicos	57.630.313	Kg
Cabos e Redes elétricas	1.251.715	Kg
Painéis e Circuitos Impressos	1.166.536	Kg
Compressor	565.972	Kg
Motor Elétrico	1.243.038	Kg
Sistema de Refrigeração	15.549.089	Kg
Termostato	240.663	Kg
Timers	68.009	Kg
Solda Tipo Eletrodo	24.557	Kg
Vareta de Solda	7.948	Kg
Anel de Solda	340.767	Kg
Plastchips	1.000	Peça
Desengraxante	2,22	m ³
Nano cerâmico	1,20	m ³

Fonte: ELECTROLUX DA AMAZÔNIA LTDA, 2012.

A aquisição de matérias-primas não envolve saídas diretas. Os resíduos e as emissões agregadas ao sistema produtivo de aparelhos de ar-condicionado são gerados nas outras fases da produção. A Tabela 4 apresenta as saídas relacionadas ao processo produtivo de 275.783 aparelhos de ar-condicionado de janela, no ano de 2011. Os coprodutos serão relacionados somente nos processos elementares.

Tabela 4: Inventário das saídas da produção de aparelhos de ar-condicionado de janela

PROCESSO PRODUTIVO DE APARELHOS DE AR-CONDICIONADO		
RESÍDUOS E EMISSÕES	Produção 275.783 ARCON/ano	Unidade de Medida (por ano)
Sucata de Aço	1.429.380	Kg
Sucata de Alumínio	53.820	Kg
Sucata de Cobre	12.940	Kg
Resíduos de Energia Elétrica	-	kWh
Água residuárias de Análises químicas	2.434,293	m ³
Águas Oleosas	144	m ³
Águas residuárias com produtos químicos	3795,758	m ³
Água residuárias de lavagens ácidas e alcalinas	1.217,465	m ³
Resíduos de Diesel	-	L
Resíduos de GLP	-	m ³
Resíduos de Gás Freon R22	-	Kg
Resíduos de Papel/Papelão	-	Kg
Resíduos de Madeira	809.120	Kg
Resíduos de EPS (Poliestireno Expandido)	28.490	Kg
Resíduos de Poliuretano	330	Kg
Resíduos de Tintas e solventes	-	Kg
Sucata de Tinta Pó	5.880	Kg
Resíduos de Material de Isolção	-	Kg
Resíduos de Material de Embalagem	-	Kg
Resíduos de Borracha	2.861.302	Kg
Sucata de Componentes Metálicos	-	Kg
Sucata de Plásticos	91.453	Kg
Sucata de Componentes Elétricos	457,5	Kg
Sucata de Componentes Eletrônicos	70,5	Kg
PROCESSO PRODUTIVO DE APARELHOS DE AR-CONDICIONADO (Continuação)		
RESÍDUOS E EMISSÕES	Produção 275.783 ARCON/ano	Unidade de Medida (por ano)
Sucata de Cabos e Redes elétricas	1.640	Kg
Sucata de Painéis e Circuitos Impressos	1.410	Kg
Sucata de condensador/ evaporador	19.040	Kg
Sucata de Compressor	-	Kg
Sucata de Motor Elétrico	1.429,380	Kg
Sucata de Sistema de Refrigeração	2.856	Kg
Sucata de Termostato	-	Kg
Sucata de Timers	-	Kg
Resíduos de Solda Tipo Eletrodo	-	Kg
Resíduos de Vareta de Solda	-	Kg
Resíduos de Anel de Solda	-	Kg
Resíduos de Plastchips	-	Peça
Resíduos de Desengraxante	2,22	m ³
Resíduos de Nano cerâmico	-	m ³
Resíduos Não recicláveis	116.790	m ³
Carbonato de cálcio	4.160,075	mg/m ³
Alumínio	0,00076	mg/m ³
Arsênio Total	0,00076	mg/m ³

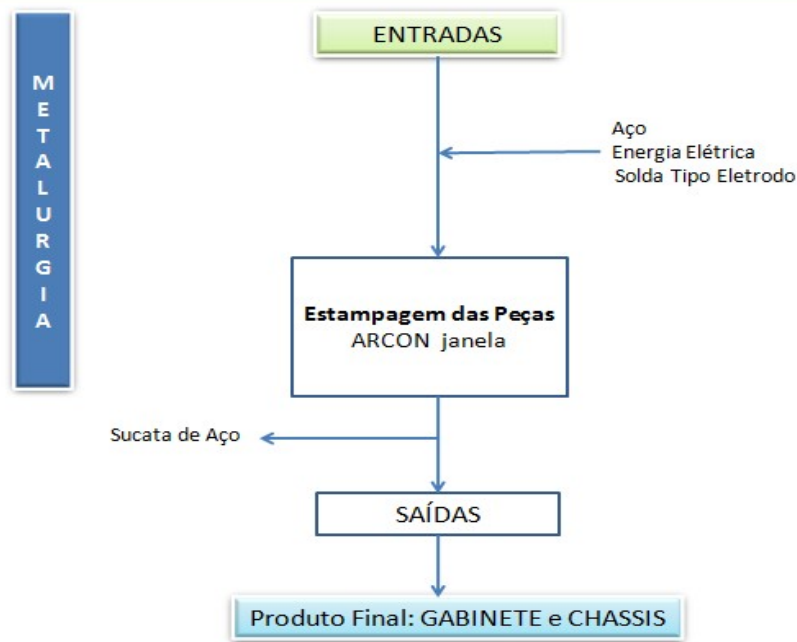
Boro Total	0,00076	mg/m ³
Cádmio Total	0,00076	mg/m ³
Chumbo Total	0,00076	mg/m ³
Cianeto Total	0,08503	mg/m ³
Cianeto Livre	0,10628	mg/m ³
Cobre dissolvido	0,28848	mg/m ³
Crômio Hexavalente	0,00076	mg/m ³
Crômio Trivalente	0,00076	mg/m ³
DQO	242,93	mg/m ³
Estanho Total	0,00076	mg/m ³
Manganês Dissolvido	0,00076	mg/m ³
DBO	182,424	mg/m ³
Fenóis Totais	0,00759	mg/m ³
Ferro Dissolvido	2,12563	mg/m ³
Fluoreto Total	14,42389	mg/m ³
Fosfato	106,585	mg/m ³
Materiais Sedimentares	0,75915	mg/m ³
Mercúrio Total	0,00076	mg/m ³
Níquel Total	0,00076	mg/m ³
Nitrito	0,08579	mg/m ³
Nitrogênio Amoniacal Total	13,96839	mg/m ³
Óleos e graxas: óleos minerais	249,6091	mg/m ³
Oxigênio Dissolvido	3,03661	mg/m ³
Sólidos em suspensão	37,42617	mg/m ³
Sólidos Dissolvidos Totais	5.058,986	mg/m ³
Prata Total	0,00076	mg/m ³
Selênio Total	0,00076	mg/m ³
Sulfato	268,73967	mg/m ³
Sulfeto	0,00304	mg/m ³
Zinco Total	1,74605	mg/m ³
Material particulado	122,57	mg/Nm ³
Compostos orgânicos voláteis	2,61	mg/Nm ³
Monóxido de carbono	4,00	mg/Nm ³

Fonte: ELECTROLUX, 2012.

4.5.1.2 Inventário para o subsistema de Metalurgia ou Estampagem de peças

Estampagem é o processo de fabricação de peças, através do corte e moldagem de metais como o aço, o alumínio e o cobre. Na metalurgia, as chapas de aço são cortadas em prensas e estampadas para a produção de chassi, gabinete, câmara evaporadora, divisão vertical, reforço da caixa elétrica e tampa da câmara evaporadora. Após essa operação o chassi passa pela solda de parafusos do compressor e é encaminhado para a pintura. O gabinete segue para a dobra das abas e também é encaminhado para a pintura. As outras peças são levadas para a linha de montagem. A Figura 27 mostra o fluxo de entrada e saída da metalurgia do processo produtivo de aparelhos de ar-condicionado de janela.

Figura 27: Fluxo de entradas e saídas da Metalurgia



Fonte: Elaboração própria.

No ano de 2011, a Electrolux da Amazônia Ltda operou abaixo de sua capacidade máxima de produção que é de 420.000 (quatrocentos e vinte e mil) aparelhos de ar-condicionado de janela. Nesse ano foram manufaturados 275.783 condicionadores de ar desse tipo. Como a empresa não dispõe de dados de entrada e saída para cada uma das fases de produção, as quantidades de matérias-primas e emissões de resíduos para cada subsistema foram estimadas em percentual e calculadas de acordo com as quantidades dos materiais adquiridos para a manufatura do produto. Os valores obtidos para a metalurgia estão registrados na Tabela 5.

Tabela 5: Inventário das quantidades de matérias-primas e insumos da Metalurgia

METALURGIA		
ENTRADAS	Produção	Unidade de Medida
	275.783 ARCON/ano	(por ano)
Aço	6.324.521	Kg
Energia Elétrica	1.683.360	kWh
Solda Tipo Eletrodo	24.557	Kg

Fonte: ELECTROLUX DA AMAZÔNIA LTDA, 2012.

Para desenvolver essas atividades, a etapa da metalurgia envolve as entradas de aço, energia elétrica e solda. Já as saídas abrangem os coprodutos que são o chassi e o gabinete do aparelho de ar-condicionado de janela, e os resíduos provenientes da utilização da matéria-prima. A sucata de aço é o único resíduo gerado na estampagem das peças. As quantidades estimadas para as saídas do processo de metalurgia estão discriminadas na Tabela 6.

Tabela 6: Inventário das quantidades de coprodutos e resíduos gerados na metalurgia

METALURGIA

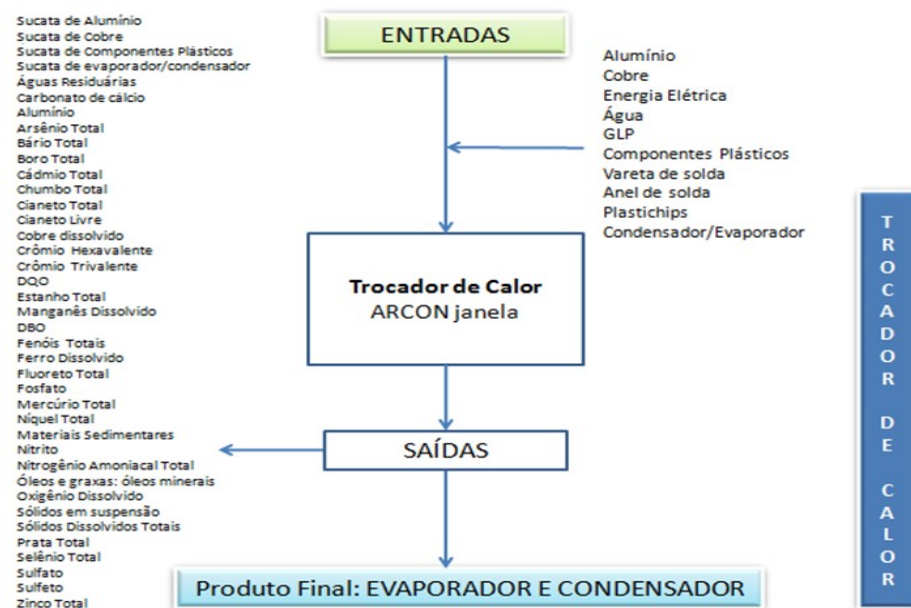
SAÍDAS	Produção 275.783 ARCON/ano	Unidade de Medida (por ano)
Chassi e Gabinete	275.783	Peça
Sucata de Aço	71.469	Kg
Resíduos de Energia Elétrica	-	kWh
Resíduos de Solda Tipo Eletrodo	-	Kg

Fonte: ELECTROLUX DA AMAZÔNIA LTDA, 2012.

4.5.1.3 Inventário para o subsistema de Trocador de calor ou Brasagem

A brasagem é um método de junção de metais, por meio do aquecimento a uma temperatura menor do que a de seus pontos de fusão para o preenchimento de folgas entre as superfícies a serem unidas. Esse preenchimento é feito com uma liga de solda no estado líquido. Com o resfriamento dessa junta se transforma em uma peça rígida e resistente. O fluxograma do trocador de calor, aplicado ao sistema de produção de aparelhos de ar-condicionado de janela foi esquematizado na Figura 28.

Figura 28: Fluxo de entradas e saídas do Trocador de calor



Fonte: Elaboração própria.

No trocador de calor é realizada a conformação dos tubos de cobre em serpentina e curvas de ligação; a inserção dos anéis de solda nas curvas de ligação; a moldagem e a soldagem dos tubos de entrada e saída; e a montagem do condensador e do evaporador.

Dentre as matérias-primas que entram nesse subsistema estão: o alumínio e o cobre que são utilizados em bobinas, tubos, arruelas, porcas e válvulas que compõem as peças e o produto final; os componentes plásticos que são constituídos de peças como hélice, ventoinha, tampas, painel frontal e aletas, e são feitas de polietileno de baixa densidade (PEBD) e

polipropileno (PP) na forma rígida e flexível; o condensador e o evaporador que estão inseridos no grupo dos componentes metálicos; os plastchips que são corpos pré-moldados de resinas plásticas, utilizados para polir peças, aparar rebarbas e fazer acabamentos finos nas superfícies das curvas de ligação.

A Tabela 7 apresenta as quantidades de matérias-primas e insumos estimadas para a linha de brasagem da produção de aparelhos de ar-condicionado de janela.

Tabela 7: Inventário das entradas de matérias-primas e insumos do trocador de calor

TROCADOR DE CALOR		
ENTRADAS	Produção 275.783 ARCON/ano	Unidade de Medida (por ano)
Alumínio	418.708,8	Kg
Cobre	2.091.175,8	Kg
Energia Elétrica	1.683.360	kWh
Água	15.443,848	m ³
GLP	98.634	m ³
Componentes Plásticos	4.481.674	Kg
Vareta de Solda	3.974	Kg
Anel de Solda	340.767	Kg
Plastchips	1.000	Peça
Componentes Metálicos	12.079.176,8	Kg

Fonte: ELECTROLUX DA AMAZÔNIA LTDA, 2012.

A Electrolux da Amazônia Ltda não possui um valor definido de consumo energético por produto ou por unidade produtiva para a fabricação dos aparelhos de ar-condicionado. Porém, um estudo de demanda energética realizado pela fábrica, mostrou que dos 100% da energia consumida na produção, 25% vem do GLP, 73% decorre da energia elétrica fornecida pela Concessionária Amazonas Energia e 2% vem do diesel utilizado nos geradores de energia em casos de falta de energia elétrica fornecida pela concessionária. No ano de 2011, o consumo médio energético para a produção de aparelhos de ar-condicionado de janela foi de 8.416.800 (8 milhões, quatrocentos e dezesseis mil e oitocentos) kWh, distribuídos nas etapas do processo.

O GLP ou Gás Liquefeito de Petróleo é usado para a geração de energia térmica na máquina de brasagem e maçaricos do trocador de calor, na cabine de cura e tanques de secagem da pintura, na máquina de embalagem e maçaricos da linha de montagem; e como combustível nas empilhadeiras que fazem o transporte de matérias-primas e produtos dentro da fábrica.

A energia elétrica é aplicada desde a metalurgia até a distribuição do produto final, na proporção de 20% na metalurgia, 20% no trocador de calor, 30% na pintura de gabinete, 15% na montagem, 5% na embalagem do produto e 10% na distribuição.

Em relação ao consumo de água, observou-se que o consumo médio em 2011 foi de 38.609,62 m³ para todo o sistema produtivo de aparelhos de ar-condicionado de janela. Essa quantidade é distribuída no trocador de calor (40%) e na pintura (60%). Essa demanda é suprida por poços artesianos instalados na planta.

O produto intermediário resultante do trocador de calor é o condensador e o evaporador que saem prontos para a montagem dos aparelhos de ar-condicionado de janela. Já os resíduos gerados por esse subsistema incluem as emissões para água e para o solo. A Tabela 8 mostra as quantidades de resíduos e emissões advindas do trocador de calor.

Tabela 8: Inventário das quantidades de resíduos e emissões estimadas do Trocador de calor

TROCADOR DE CALOR		
SAÍDAS	Produção 275.783 ARCON/ano	Unidade de Medida (por ano)
Sucata de Alumínio	16.146	Kg
Sucata de Cobre	5.176	Kg
Resíduos de Energia Elétrica	–	kWh
Águas residuárias	1.518,3032	m ³
Resíduos de GLP	–	m ³
Sucata de Componentes Plásticos	18.290,6	Kg
Resíduos de Vareta de Solda	–	Kg
Resíduos de Anel de Solda	–	Kg
Resíduos de Plastchips	–	Peça
Sucata de Evaporador/Condensador	3.808	Kg
Carbonato de cálcio	832,015	mg/m ³
Alumínio	0,00015	mg/m ³
Arsênio Total	0,00015	mg/m ³
Bário Total	0,00015	mg/m ³
Boro Total	0,00015	mg/m ³
Cádmio Total	0,00015	mg/m ³
Chumbo Total	0,00015	mg/m ³
Cianeto Total	0,02126	mg/m ³
TROCADOR DE CALOR (Continuação)		
SAÍDAS	Produção 275.783 ARCON/ano	Unidade de Medida (por ano)
Cianeto Livre	0,01063	mg/m ³
Cobre dissolvido	0,05769	mg/m ³
Crômio Hexavalente	0,00015	mg/m ³
Crômio Trivalente	0,00015	mg/m ³
DQO	48.586	mg/m ³
Estanho Total	0,00015	mg/m ³
Manganês Dissolvido	0,00015	mg/m ³
DBO	36,4848	mg/m ³
Fenóis Totais	0,00152	mg/m ³

Ferro Dissolvido	0,42513	mg/m ³
Fluoreto Total	2,88478	mg/m ³
Fosfato	21,3169	mg/m ³
Materiais Sedimentares	0,15183	mg/m ³
Mercúrio Total	0,00015	mg/m ³
Níquel Total	0,00015	mg/m ³
Nitrito	0,017158	mg/m ³
Nitrogênio Amoniacal Total	2,79368	mg/m ³
Óleos e graxas: óleos minerais	49,9218	mg/m ³
Oxigênio Dissolvido	0,60732	mg/m ³
Sólidos em suspensão	7,48524	mg/m ³
Sólidos Dissolvidos Totais	1.011,79725	mg/m ³
Prata Total	0,00015	mg/m ³
Selênio Total	0,00015	mg/m ³
Sulfato	53,74793	mg/m ³
Sulfeto	0,00061	mg/m ³
Zinco Total	0,34921	mg/m ³

Fonte: ELECTROLUX DA AMAZÔNIA LTDA, 2012.

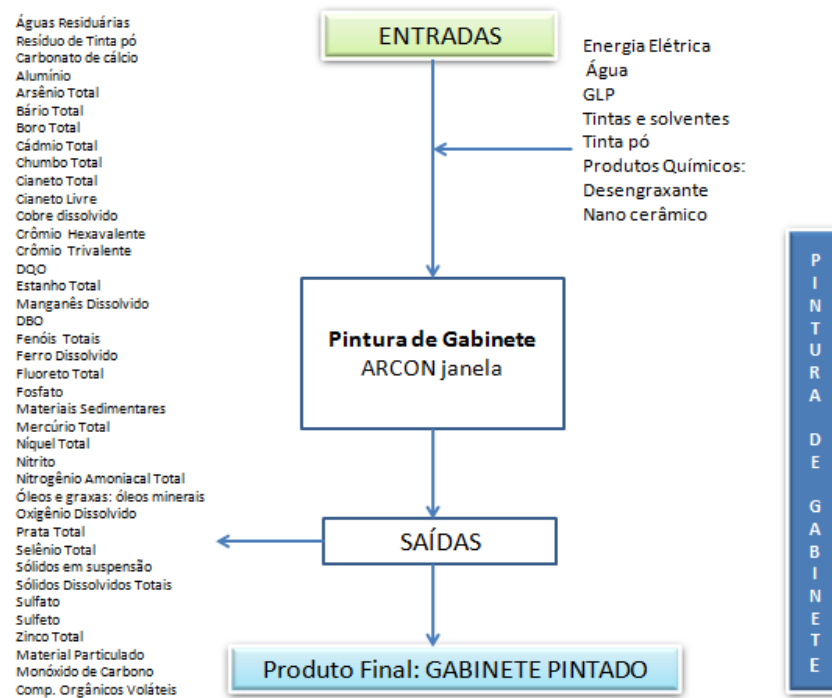
4.5.1.4 Inventário para o subsistema de Pintura de gabinete

A fase de pintura se inicia com os gabinetes recebidos do trocador de calor e termina com o coproduto gabinete pintado.

A pintura de gabinete de aparelhos de ar-condicionado de janela consiste no pré-tratamento dos gabinetes para receberem a tinta pó e, posteriormente, serem encaminhados para a linha de montagem. Os gabinetes passam por banhos sucessivos que preparam a peça para a pintura e retirada de resíduos. Essa operação envolve o banho desengraxante, o banho pós-desengraxante, o banho com nano cerâmico e o banho pós-nano cerâmico. A seguir, as peças são secadas e postas no transportador aéreo para a aplicação da tinta. Depois de efetuada a pintura, os gabinetes passam pelo processo de cura da tinta e inspeção da peça.

As entradas características desse processo elementar são as tintas e os solventes que definem a atividade principal da manufatura: a pintura dos gabinetes. As tintas e solventes englobam a resina de poliéster (tinta pó), a tinta serigráfica e o solvente vinílico. A Figura 29 apresenta o fluxo de entrada e saída do subsistema de pintura de gabinetes de ar-condicionado de janela.

Figura 29: Fluxograma do subsistema de Pintura de gabinete



Fonte: Elaboração própria.

A tinta pó, matéria-prima principal da pintura de gabinete, é composta pela resina de poliéster carboxilada, pelo sulfato de bário natural, pela benzoína, pelo dióxido de titânio, pelo negro de fumo, pelo óxido de ferro e pelo poliéster TGIC. A Tabela 9 exhibe as quantidades de todas as entradas de materiais associadas à fase de pintura de gabinetes.

Tabela 9: Inventário das entradas de matérias-primas e insumos na Pintura de gabinete

PINTURA DE GABINETE		
ENTRADAS	Produção 275.783 ARCON/ano	Unidade de Medida (por ano)
Energia Elétrica	2.525.040	kWh
Água	23.165,772	m ³
GLP	98.634	m ³
Tintas e solventes	249.217	m ³
Tinta Pó	8.498	Kg
Desengraxante	2,22	m ³
Nano cerâmico	1,20	m ³

Fonte: ELECTROLUX DA AMAZÔNIA LTDA, 2012.

As saídas da pintura envolvem as emissões para o ar e para a água. As emissões atmosféricas são constituídas de material particulado, compostos orgânicos voláteis, hidrocarbonetos totais, monóxido de carbono, dióxido de carbono, óxido de nitrogênio, dióxido de nitrogênio e dióxido de enxofre.

A análise e medida das emissões atmosféricas para esse subsistema indicaram a presença de material particulado, compostos orgânicos voláteis e monóxido de carbono,

somente. Os equipamentos utilizados na coleta foram o Coletor Isocinético de Poluentes Atmosféricos (CIPA), o analisador de gases de combustão e a balança analítica. As amostragens e análises foram realizadas com base nas normas NBR 10.700:1989, NBR 10.701:1989, NBR 10.702:1989, NBR 11.966:1989, NBR 11.967:1989, NBR 12.020:1992, NBR 12.019:1990, US-EPA-*Method* 3A-6/13/90 e US-EPA-*Method* 10-12/12/90.

Os parâmetros analisados e os resultados encontrados são utilizados para avaliar a eficiência de operação do processo industrial, e servem de referência para avaliação do controle Ambiental realizado pela empresa.

As águas residuárias são oriundas das águas de lavagens que acontecem na brasagem; das águas de lavagem ácidas e alcalinas da pintura de gabinetes; das águas oleosas do banho desengraxante; das águas com produtos químicos que saem da torre de resfriamento e das análises químicas do efluente industrial feitas pelo laboratório químico da manufatura. Tais águas contêm elementos químicos variados, resíduos de desengraxante, resíduos de nano cerâmicos, a Demanda Química de Oxigênio (DQO) e a Demanda Biológica de Oxigênio (DBO). A DQO indica a quantidade de matéria orgânica suscetível de ser oxidada por meios químicos que existam em uma amostra líquida. Já a DBO, corresponde à quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica biodegradável presente na água. A Tabela 10 mostra a estimativa de todas as saídas para o subsistema de pintura de gabinete de aparelhos de ar-condicionado de janela.

Tabela 10: Inventário das saídas estimadas para o subsistema de Pintura de gabinete

PINTURA DE GABINETE		
SAIDAS	Produção 275.783 ARCON/ano	Unidade de Medida (por ano)
Resíduos de Energia Elétrica	–	kWh
Resíduos de GLP	–	m ³
Tintas e solventes	–	Kg
Tinta pó	5.880	Kg
Águas de lavagem ácidas e alcalinas	1.217,465	m ³
Águas residuárias de Análises químicas	2.434,293	m ³
Águas Oleosa	144	m ³
Água com Produtos químicos	3.795,758	m ³
Carbonato de cálcio	3.328,06	mg/m ³
Alumínio	0,00061	mg/m ³
PINTURA DE GABINETE (Continuação)		
SAIDAS	Produção 275.783 ARCON/ano	Unidade de Medida (por ano)
Arsênio Total	0,00061	mg/m ³
Boro Total	0,00061	mg/m ³

Cádmio Total	0,00061	mg/m ³
Chumbo Total	0,00061	mg/m ³
Cianeto Total	0,08503	mg/m ³
Cianeto Livre	0,04251	mg/m ³
Cobre dissolvido	0,23079	mg/m ³
Crômio Hexavalente	0,00061	mg/m ³
Crômio Trivalente	0,00061	mg/m ³
DQO	194,344	mg/m ³
Estanho Total	0,00061	mg/m ³
Manganês Dissolvido	0,00061	mg/m ³
DBO	145,939	mg/m ³
Fenóis Totais	0,00607	mg/m ³
Ferro Dissolvido	1,770051	mg/m ³
Fluoreto Total	11,53911	mg/m ³
Fosfato	85,26791	mg/m ³
Materiais Sedimentares	0,60732	mg/m ³
Mercúrio Total	0,00061	mg/m ³
Níquel Total	0,00061	mg/m ³
Nitrito	0,06863	mg/m ³
Nitrogênio Amoniacal Total	11,17471	mg/m ³
Óleos e graxas: óleos minerais	199,68724	mg/m ³
Oxigênio Dissolvido	2,42929	mg/m ³
Sólidos em suspensão	29,99095	mg/m ³
Sólidos Dissolvidos Totais	4.047,18901	mg/m ³
Prata Total	0,00061	mg/m ³
Selênio Total	0,00061	mg/m ³
Sulfato	214,99174	mg/m ³
Sulfeto	0,00243	mg/m ³
Zinco Total	1,39684	mg/m ³
Material particulado	122,57	mg/Nm ³
Compostos orgânicos voláteis	2,61	mg/Nm ³
Monóxido de carbono	4,00	mg/Nm ³

Fonte: ELECTROLUX DA AMAZÔNIA LTDA, 2012.

4.5.1.5 Inventário para o subsistema de Linha de montagem do produto

A linha de montagem reúne as peças e os produtos intermediários das etapas anteriores do processo. Essa etapa da produção se inicia com o chassi pintado e a montagem da caixa elétrica para condicionadores de ar mecânico ou eletrônico. Essa caixa é acoplada ao chassi que recebe o compressor, o evaporador, o condensador e o sistema de refrigeração. O gás refrigerante é inserido no sistema e todas as ligações elétricas são conectadas e inspecionadas. Depois da montagem do gabinete e fixação das peças e do painel frontal, o produto segue para a embalagem e preparo para o transporte e armazenagem.

A Figura 30 exibe o fluxograma das entradas e saídas envolvidas na linha de montagem da produção de aparelhos de ar-condicionado de janela.

Figura 30: Fluxograma das entradas e saídas de materiais da Linha de montagem



Fonte: Elaboração própria.

Para os materiais que entram na fase de montagem de aparelhos de ar-condicionado de janela, destacam-se as peculiaridades e a empregabilidade de alguns deles:

- O aço, o alumínio e o cobre são utilizados em bobinas, tubos, arruelas, porcas e válvulas que compõem as peças e o produto final.
- O Freon R22 (CHClF_2) é usado como refrigerante em aparelhos de ar-condicionado de janela;
- O papel/papelão é um subgrupo de materiais que engloba diferentes tipos de papéis como o papelão usado nas embalagens e acondicionamento do produto e os papéis gráficos para impressão, utilizados na confecção dos manuais de uso e instalação que acompanham os aparelhos de ar-condicionado;
- A madeira é utilizada na forma de *pallets* para acondicionar o produto para o transporte e a armazenagem;
- O material de isolamento é constituído de espuma de poliuretano empregada na vedação e isolamento de peças e sistemas internos; e na proteção do produto final dentro das embalagens;
- O material de embalagem consiste em poliestireno expandido (EPS), polietileno de baixa densidade (PEBD) e papelão, com a finalidade de acondicionar e embalar os aparelhos de ar-condicionado para o transporte e a armazenagem;

- Os componentes de borracha são anéis, arruelas, isolantes, mantas, borrachas de vedação, que apresentam funções variadas no sistema de refrigeração e na montagem dos condicionadores de ar de janela;
- Os componentes metálicos são porcas, parafusos, molas, arruelas, presilhas e suportes de aço, alumínio ou cobre. Pertencem a esse subgrupo os condensadores e evaporadores;
- Os componentes elétricos são capacitores, chaves seletoras, transformadores, válvulas e caixas elétricas, que constituem os sistemas elétricos dos aparelhos de ar-condicionado;
- Os componentes eletrônicos são relés, sensores, microcontroladores, condutores, resistores, diodos, *leds*, placas eletrônicas e *display*, usados nos sistemas eletrônicos do produto;
- Os painéis e circuitos impressos são capacitores de variados tipos, conectores e placas de *display*; e
- Os cabos e redes elétricas envolvem os cabos de força, os cabos de alimentação e as redes elétricas, que são fundamentais para colocar o aparelho em funcionamento.

A Tabela 11 apresenta o inventário de todas as entradas de insumos e matérias-primas utilizadas na montagem de aparelhos de ar-condicionado de janela.

Tabela11: Inventário das entradas de materiais na Linha de montagem

LINHA DE MONTAGEM		
ENTRADAS	Produção 275.783 ARCON/ano	Unidade de Medida (por ano)
Aço	6.324.521	Kg
Alumínio	297.139,2	Kg
Cobre	4.879.410,2	Kg
Energia Elétrica	1.262.520	kWh
Gás Freon R22	471.026	Kg
GLP	32.878	m ³
Papel/Papelão	1.546.677,6	Kg
Madeira	404.560	Kg
Poliuretano	330	Kg
Material de Isolação	3.220.359	Kg
Componentes de Borracha	2.861.302	Kg
Componentes Metálicos	48.316.707,2	Kg
LINHA DE MONTAGEM (Continuação)		
ENTRADAS	Produção 275.783 ARCON/ano	Unidade de Medida (por ano)
Painéis e Circuitos Impressos	1.166.536	Kg
Componentes Plásticos	13.445.022	Kg
Componentes Elétricos	3.602.731	Kg
Componentes Eletrônicos	57.630.313	Kg
Cabos e Redes elétricas	1.251.715	Kg

Compressor	565.972	Kg
Motor Elétrico	1.243.038	Kg
Sistema de Refrigeração	15.549.089	Kg
Termostato	240.663	Kg
Timers	68.009	Kg
Vareta de Solda	3.974	Kg

Fonte: ELECTROLUX DA AMAZÔNIA LTDA, 2012.

Na linha de montagem de aparelhos de ar-condicionado de janela, entram as peças e coprodutos manufaturados nas etapas anteriores de produção e saem, como produto final, os aparelhos de ar-condicionado prontos para a embalagem. Além desse produto, a montagem produz emissões para o solo. Dentre elas estão os componentes de borracha, os componentes elétricos, eletrônicos e metálicos; os resíduos de papel e papelão, madeira e poliuretano; as sucatas de aço, alumínio e cobre; e as sucatas de peças fundamentais como o motor elétrico, o condensador e evaporador, e o sistema de refrigeração. A Tabela 12 mostra o inventário das saídas de resíduos originados na fase de montagem de aparelhos de ar-condicionado de janela.

Tabela 12: Inventário das emissões de resíduos da Linha de Montagem

LINHA DE MONTAGEM		
SAÍDAS	Produção 275.783 ARCON/ano	Unidade de Medida (por ano)
Sucata de Aço	1.357.911	Kg
Sucata de Alumínio	37.674	Kg
Sucata de Cobre	7.764	Kg
Resíduos de Energia Elétrica	–	kWh
Resíduos de Gás Freon R22	–	Kg
Resíduos de GLP	–	m ³
Resíduos de Papel/Papelão	365.528,65	Kg
Resíduos de Madeira	647.296	Kg
Resíduos de Poliuretano	330	Kg
Sucata de Material de Isolação	–	Kg
Sucata de Componentes de Borracha	17.500	Kg
Sucata de Componentes Metálicos	–	Kg
Sucata de Componentes Plásticos	54.871,8	Kg
Sucata de Componentes Elétricos	457,5	Kg
Sucata de Componentes Eletrônicos	70,5	Kg
Sucata de Cabos e Redes elétricas	1.640	Kg
Sucata de Painéis e Circuitos Impressos	1.410	Kg
Sucata de Compressor	–	Kg
Sucata de Motor Elétrico	1.429,380	Kg
Sucata de Sistema de Refrigeração	2.856	Kg
Sucata de Termostato	–	Kg
LINHA DE MONTAGEM (Continuação)		
SAÍDAS	Produção 275.783 ARCON/ano	Unidade de Medida (por ano)

Sucata de Timers	6.477	Kg
Resíduos de condensador/evaporador	15.232	Kg
Resíduos de Vareta de Solda	-	Kg
Resíduos não recicláveis	116.790	Kg

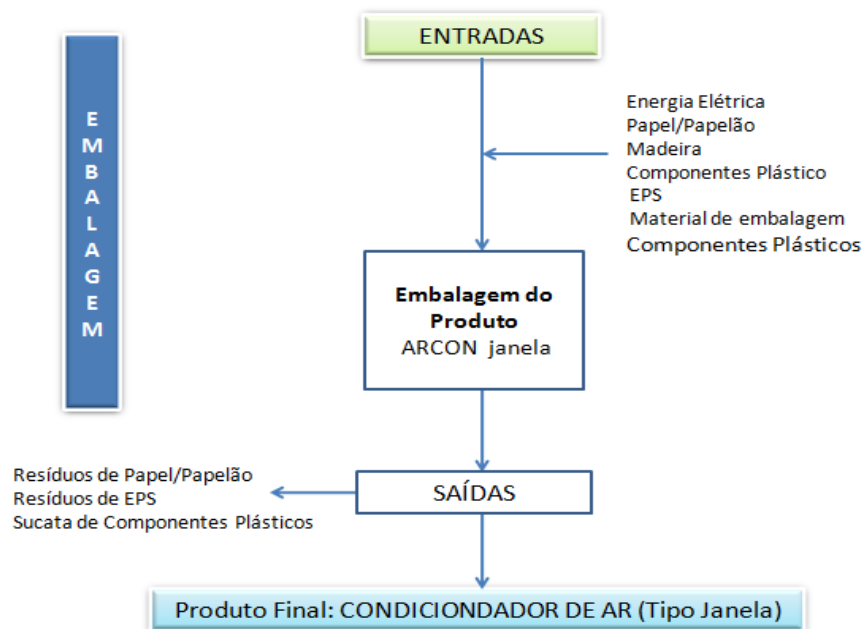
Fonte: ELECTROLUX DA AMAZÔNIA LTDA, 2012.

4.5.1.6 Inventário para o subsistema de Embalagem do produto

Na fase de embalagem da produção de aparelhos de ar-condicionado de janela, o produto é embalado para facilitar seu transporte, armazenagem e distribuição. A embalagem tem como objetivo principal garantir a segurança do produto e fornecer informações sobre o manuseio e a composição do mesmo.

A embalagem de condicionadores de ar de janela é feita por meio da utilização de sacos plásticos, isopor (EPS), caixas de papelão, espuma de poliuretano e polietileno de baixa densidade, com o intuito de acondicionar o produto e contribuir para a eficiência da logística de armazenagem e distribuição desses aparelhos. A Figura 31 apresenta o fluxograma das entradas e saídas envolvidas no subsistema de Embalagem de aparelhos de ar-condicionado de janela.

Figura 31: Fluxograma do subsistema de Embalagem de produto



Fonte: Elaboração própria.

Como já foi discutido anteriormente, o material de embalagem que entra na nessa fase da produção é composta por papelão e plástico, na forma de caixas e sacos utilizados para reunir o aparelho de ar-condicionado; pelo controle remoto; pelos cabos elétricos; e pelos

manuais de uso e instalação do produto. Já os componentes plásticos são compostos por polipropileno (PP) rígido e flexível, e pelo polietileno de baixa densidade (PEBD). A Tabela 13 exibe as entradas de materiais envolvidas na fase de embalagem da produção de condicionadores de ar de janela.

Tabela 13: Inventário das entradas de materiais na Embalagem do produto

EMBALAGEM DO PRODUTO		
ENTRADAS	Produção 275.783 ARCON/ano	Unidade de Medida (por ano)
Energia Elétrica	420.840	kWh
Papel/Papelão	386.669,4	Kg
Madeira	404.560	Kg
EPS (Poliestireno Expandido)	28.490	Kg
Material de Embalagem	6.400.741	Kg
Componentes Plásticos	4.481.674	Kg

Fonte: ELECTROLUX DA AMAZÔNIA LTDA, 2012.

As quantidades de resíduos gerados na embalagem dos produtos estão especificadas na Tabela 14. Nela se observa que os materiais que produzem maior quantidade de resíduos são o papel, o papelão e os componentes plásticos.

Tabela 14: Inventário das saídas de resíduos da Embalagem do produto

EMBALAGEM DO PRODUTO		
SAÍDAS	Produção 275.783 ARCON/ano	Unidade de Medida (por ano)
Resíduos de Energia Elétrica	–	kWh
Resíduos de Papel/Papelão	19.238,35	Kg
Resíduos de Madeira	–	Kg
Resíduos de EPS (Poliestireno Expandido)	25.641	Kg
Material de Embalagem	–	Kg
Sucata de Componentes Plásticos	18.290,6	Kg

Fonte: ELECTROLUX DA AMAZÔNIA LTDA, 2012.

4.5.1.7 Inventário para o subsistema de Transporte do produto

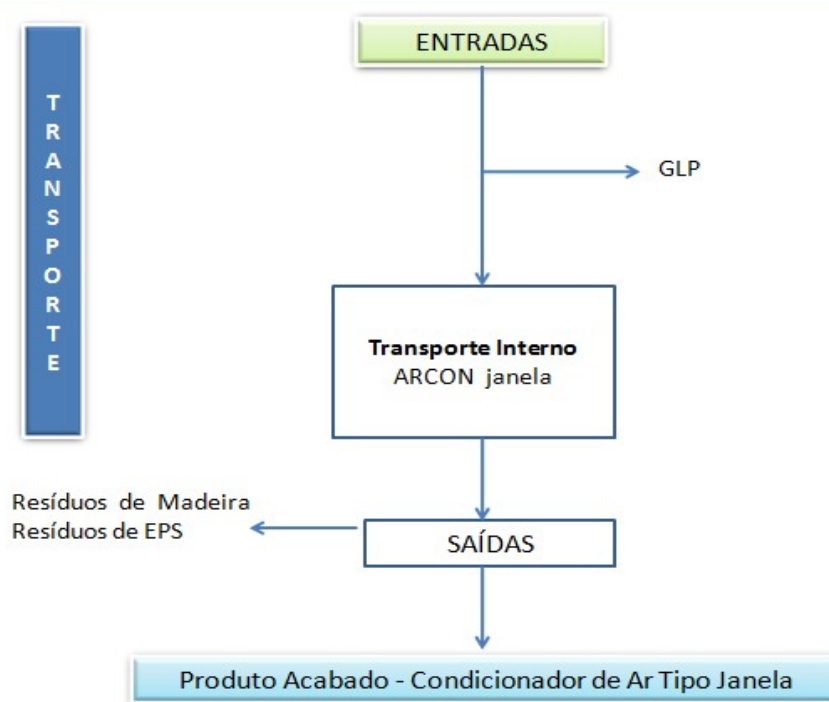
Todas as etapas do processo produtivo de aparelhos de ar-condicionado são permeadas pelo transporte de matérias-primas, insumos, produtos e coprodutos. Vale ressaltar que o sistema de manufatura desses aparelhos envolve o transporte que vai desde a extração de matérias-primas até a entrada desses materiais na empresa; o transporte de materiais, produtos e coprodutos realizado no interior da fábrica; e o transporte destinado à distribuição do produto. Todas essas modalidades de transporte geram resíduos e emissões para a atmosfera.

Os transportes externos não foram incluídos no estudo, uma vez que o objetivo do trabalho é fazer uma avaliação ambiental do processo produtivo, através de uma abordagem do portão ao portão (portão de entrada ao portão de saída da fábrica). Assim sendo esses transportes extrapolam as fronteiras do sistema de produto, por estarem fora da abrangência do trabalho.

O subsistema de transporte interno inclui a circulação de materiais e produtos entre as unidades de processo. Dessa forma, somente foram considerados para o estudo, os dados relacionados ao transporte interno.

A Electrolux da Amazônia Ltda não forneceu dados suficientes para a construção do inventário completo de entradas e saídas de materiais e emissões para esse subsistema. Dentre esses dados estão a distância média percorrida pelas empilhadeiras durante a manufatura dos 275.783 condicionadores de ar e a quantidades de gás carbônico e outras emissões para a atmosfera. A Figura 32 exibe o fluxograma do subsistema de Transporte interno da produção de aparelhos de ar-condicionado de janela.

Figura 32: Fluxograma do subsistema de Transporte interno



Fonte: Elaboração própria.

A empresa disponibilizou poucas informações a respeito das entradas e saídas associadas a esse subsistema. Os dados sobre as entradas de matérias-primas e insumos para a análise do subsistema de transporte interno estão disponibilizados na Tabela 15.

Tabela 15: Inventário das entradas de materiais no Transporte interno

TRANSPORTE INTERNO		
ENTRADAS	Produção 275.783 ARCON/ano	Unidade de Medida (por ano)
Diesel	10	m ³
GLP	98.634	m ³

Fonte: ELECTROLUX DA AMAZÔNIA LTDA, 2012.

Vale ressaltar que os dados relacionados às saídas do processo elementar de transporte interno não incluem as emissões atmosféricas. Essa informação não foi fornecida pela empresa, resultando em um inventário incompleto para a análise do subsistema de transporte interno, pois não contemplam as emissões de gás carbônico, resíduo principal da queima de combustível nos sistemas de transporte.

A Tabela 16 mostra os dados de saídas de resíduos gerados no transporte interno na manufatura de aparelhos de ar-condicionado de janela.

Tabela 16: Inventário das saídas de resíduos gerados no Transporte interno

TRANSPORTE INTERNO		
SAÍDAS	Produção 275.783 ARCON/ano	Unidade de Medida (por ano)
Resíduos de Diesel	–	m ³
Resíduos de GLP	–	m ³
Resíduos de Madeira	161.824	Kg
Resíduos de EPS (Poliestireno Expandido)	2.849	Kg

Fonte: ELECTROLUX DA AMAZÔNIA LTDA, 2012.

Algumas entradas e saídas do sistema produtivo de aparelhos de ar-condicionado de janela, não foram consideradas na análise de impactos ambientais, em função das limitações apresentadas pela versão educacional do *software* SimaPro 7.3, utilizado na Análise do Ciclo de Vida desses aparelhos. São matérias-primas, insumos ou emissões que não constam nos projetos disponíveis nos bancos de dados dessa ferramenta computacional. Dentre as entradas estão os componentes metálicos, o compressor, o motor elétrico, o sistema de refrigeração, o termostato, o timer, o plastchips e o nano cerâmico. Já as saídas incluem os materiais sedimentares e o oxigênio dissolvido.

O estágio de distribuição do produto extrapola os limites de abrangência do estudo, que é o portão de saída da empresa pesquisada, portanto, não foi incluído na análise. Esses limites foram determinados com base no objetivo do trabalho e nos dados disponíveis.

4.5.3 Avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV)

A Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida tem o propósito de analisar o significado e a magnitude dos impactos ambientais, com base nos resultados do inventário do ciclo de vida dos aparelhos de ar-condicionado de janela. Essa análise foi realizada a partir da classificação, da quantificação e da caracterização dos impactos potenciais, resultantes das intervenções ambientais associadas ao inventário do ciclo de vida do produto.

A Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida permitiu a identificação dos aspectos ambientais e impactos potenciais envolvidos no processo produtivo de aparelhos de ar-condicionado de janela e se baseou no fluxo de entrada de recursos e energia e de saída de emissões de resíduos. Essa etapa da ACV corresponde aos resultados da avaliação ambiental a que se propõe essa pesquisa, enquanto que a Interpretação do ciclo de vida, etapa seguinte da Análise do Ciclo de Vida, discute os resultados obtidos.

O método escolhido para desenvolver a AICV foi o Eco-Indicator 99, versão igualitária (Eco-Indicator 99/E), contido no *software* SimaPro 7.3, que considera a classificação, a caracterização, a normalização e a ponderação para expressar os resultados da associação dos dados de inventário com as categorias de impactos relacionadas aos danos à saúde humana, ao ecossistema e aos recursos naturais.

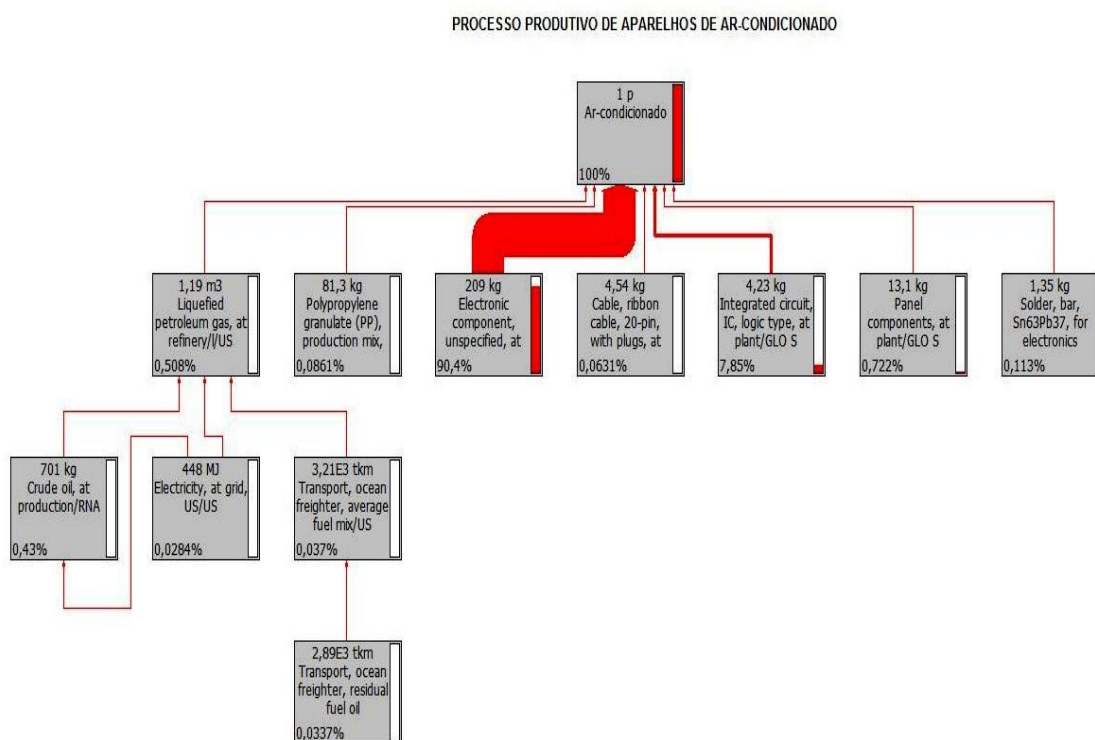
O fator de caracterização utilizado na AICV representa um item de multiplicação empregado na conversão dos dados de inventário em categorias de impacto. As quantidades de cada substância inventariada são multiplicadas por esse fator para indicar sua contribuição para um determinado problema ambiental. Essa conversão é feita pelo SimaPro 7.3 no decorrer da construção do inventário e no cálculo dos impactos potenciais. O Quadro 3 mostra as unidades em que foram expressas as categorias de impactos selecionadas para o estudo.

Quadro 3: Unidades das categorias de impacto

Categoria de impacto	Unidade
Efeitos Carcinogênicos	DALY
Efeitos Respiratórios Orgânicos	DALY
Efeitos Respiratórios Inorgânicos	DALY
Mudanças Climáticas	DALY
Radiação Iônica	DALY
Depleção da Camada de Ozônio	DALY
Potencial de Ecotoxicidade	PAF*m ² yr
Potencial de Acidificação/ Eutrofização	PDF*m ² yr
Uso da Terra	PDF*m ² yr
Recursos Minerais	MJ
Combustíveis Fósseis	MJ

Dentre os resultados obtidos a partir das análises e cálculos realizados pelo SimaPro 7.3, destaca-se a modelagem da rede de pontuação única para o processo produtivo de aparelhos de ar-condicionado de janela, apresentando as contribuições das matérias-primas e insumos para os impactos ambientais potenciais associados ao sistema de produto. Essa rede e a contribuição de impacto de cada elemento, expressa em porcentagem, estão esquematizadas na Figura 33.

Figura 33: Rede de pontuação única do processo produtivo de aparelhos de ar-condicionado de janela



Fonte: PRE CONSULTANTS, 2006.

A rede de processo mostra o fluxo das matérias-primas e insumos que mais contribuem para os impactos ambientais na produção de aparelhos de ar-condicionado de janela. Esses fluxos estão dispostos em linhas, cuja espessura representa a carga ambiental para os materiais que participam da constituição do produto. Em cada rede são exibidos, no máximo, 12 processos em ordem de importância para o sistema de produto.

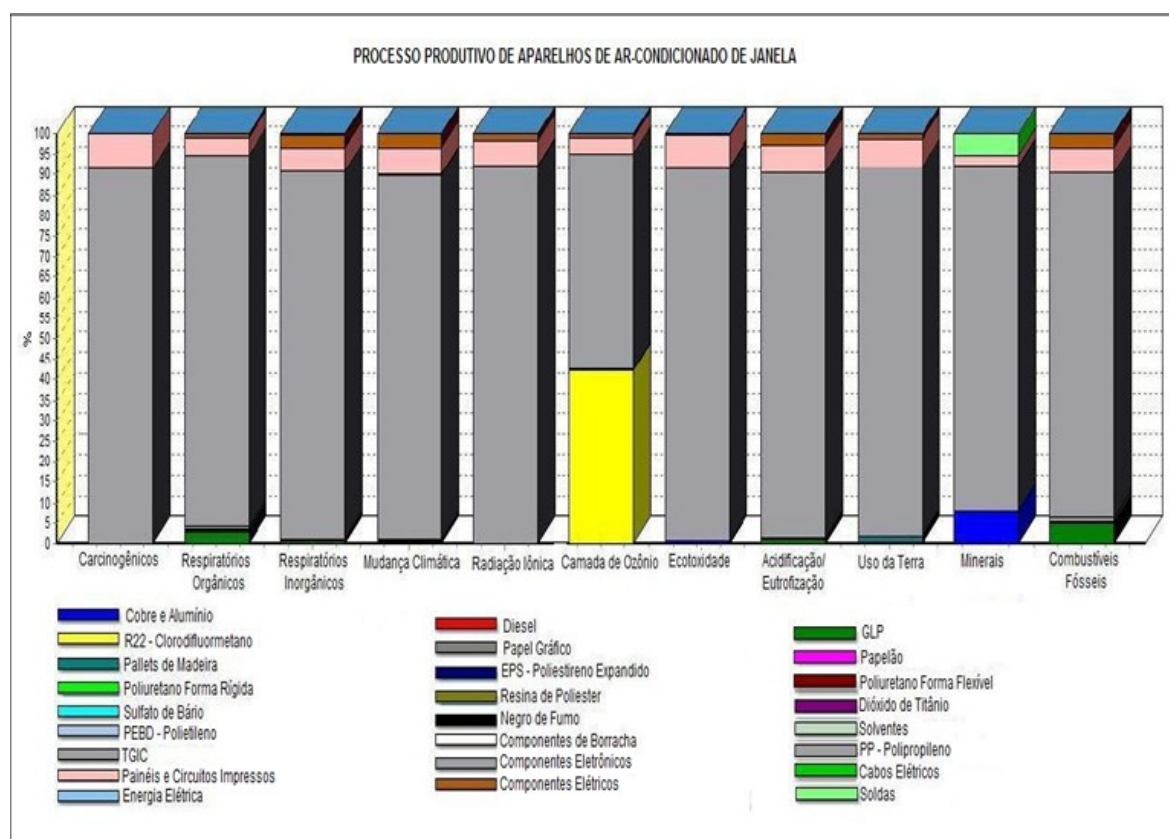
A modelagem de rede para o processo produtivo de aparelhos de ar-condicionado de janela indica que, dentre os insumos considerados, os componentes eletrônicos apresentam valores e fluxos mais significativos para os impactos ambientais, seguidos dos painéis e

circuitos impressos e dos componentes elétricos. Esses são os elementos que mais contribuem para os danos ao meio ambiente.

Os fluxos de óleo cru, eletricidade e transporte fazem parte do subprocesso de obtenção do gás liquefeito de petróleo (GLP), que são incluídos pelo SimaPro 7.3 como entradas na produção de aparelhos de ar-condicionado.

Os impactos potenciais considerados pelo método Eco-Indicator 99 abrangem os efeitos carcinogênicos, os efeitos respiratórios orgânicos e inorgânicos, as mudanças climáticas, a radiação iônica, a depleção da camada de ozônio, a ecotoxicidade, a acidificação e a eutrofização, o uso da terra, a extração de recursos minerais e os combustíveis fósseis. A caracterização desses impactos para o sistema de produção dos aparelhos de ar-condicionado de janela é exibido, em forma de gráfico, na Figura 34.

Figura 34: Caracterização dos impactos potenciais da produção de aparelhos de ar-condicionado de janela.



Fonte: PRE CONSULTANTS, 2006.

Conforme se observa no gráfico, os resultados indicam uma hierarquização dos impactos ambientais causados pelas matérias-primas e insumos, e pela emissão de resíduos envolvidos na produção de aparelhos de ar-condicionado de janela. Para a caracterização desses impactos foram consideradas as quantidades das principais matérias-primas como

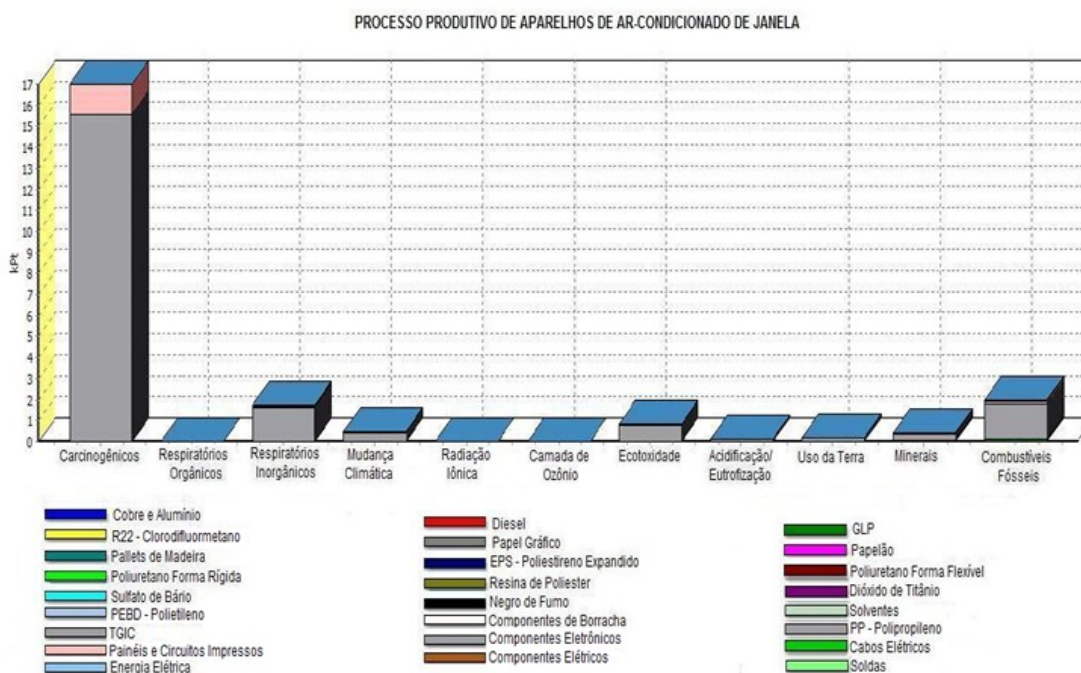
cobre, aço e alumínio, e dos insumos utilizados na manufatura desses aparelhos. A esses valores, foram incorporadas as emissões de resíduos oriundos desses materiais como sucata de cobre, aço e alumínio, resíduos de EPS, sucata de borracha, sucata de componentes eletrônicos, emissões atmosféricas, emissões de efluentes industriais, dentre outros.

A caracterização mostra os resultados expressos na forma de um indicador numérico para uma determinada categoria de impacto. Tal indicador representa a carga ambiental da utilização do recurso para cada categoria de impacto (CHEHEBE, 2002).

Para o sistema produtivo de aparelhos de ar-condicionado de janela os materiais que causam maior impacto ao meio ambiente, em ordem de importância, são os componentes eletrônicos, os painéis e circuitos impressos, os componentes elétricos, o gás liquefeito de Petróleo (GLP), o cobre e o alumínio, a solda, os *pallets* de madeira e o refrigerante R22.

A ponderação dos impactos ambientais da produção de aparelhos de ar-condicionado de janela comprova os resultados obtidos na caracterização do produto e apresenta os principais impactos ambientais envolvidos na manufatura de ar-condicionado de janela. É medida em pontuação de impacto, cuja unidade é o *Point* (Pt) ou suas variações como o kPt que equivale a 1000 Pt. A ponderação agrega esses resultados entre as diferentes categorias de impacto, conforme se pode observar na Figura 35.

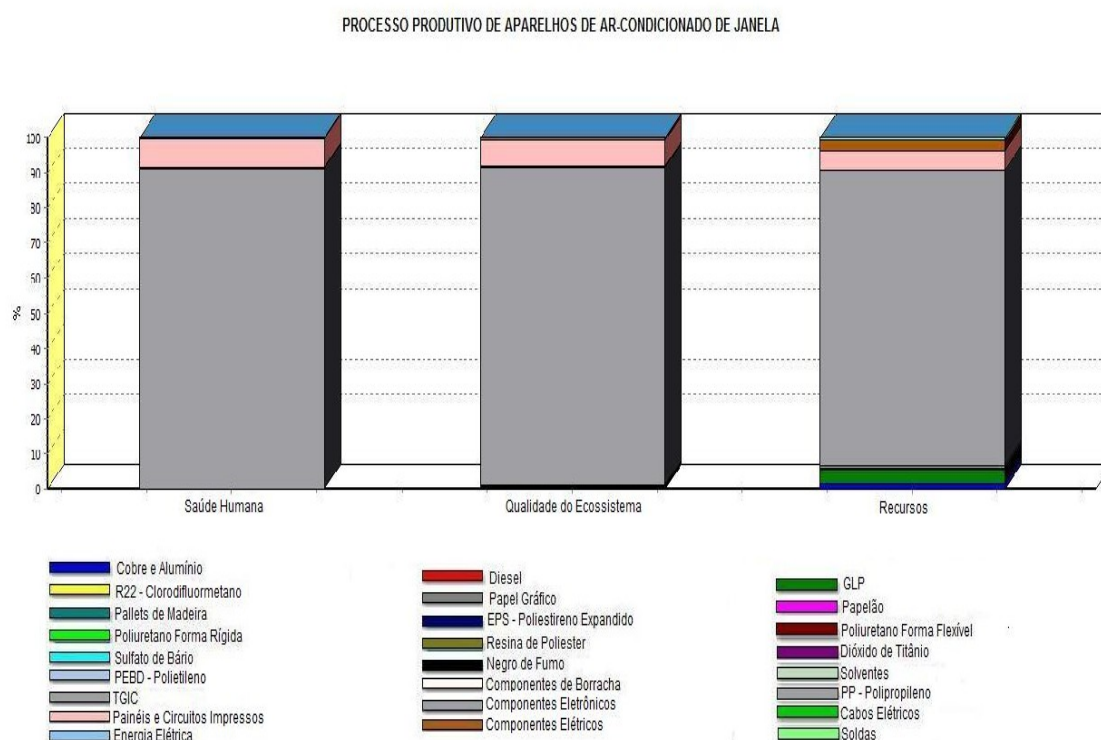
Figura 35: Ponderação dos impactos potenciais da produção de aparelhos de ar-condicionado de janela.



Os efeitos carcinogênicos, a utilização de combustíveis fósseis, os efeitos respiratórios inorgânicos, a ecotoxicidade, as mudanças climáticas, a extração de minerais, o uso da terra e a acidificação e a eutrofização são os impactos potenciais de maior importância na produção de aparelhos de ar-condicionado de janela. Dentre os principais responsáveis por esses impactos estão os componentes eletrônicos que contribuem de maneira significativa, para todos esses impactos, em especial para os efeitos carcinogênicos; os painéis e circuitos impressos que contribuem para os efeitos carcinogênicos, para os combustíveis fósseis e para os efeitos respiratórios inorgânicos; e os componentes elétricos que agravam o uso de recursos não renováveis, como os combustíveis fósseis.

Os resultados também foram disponibilizados por categorias de danos à saúde humana, ao ecossistema e aos recursos, conforme o gráfico apresentado na Figura 36.

Figura 36: Avaliação de danos causados pelo processo produtivo de aparelhos de ar-condicionado de janela



Fonte: PRE CONSULTANTS, 2006.

Os danos à saúde humana incluem o número e a duração dos efeitos, fatalidades e incapacidades provenientes de causas ambientais que afetam a saúde. Para o sistema de manufatura de aparelhos de ar-condicionado de janela, os principais insumos que acarretam danos à saúde humana são os componentes eletrônicos e os painéis e circuitos impressos. Os

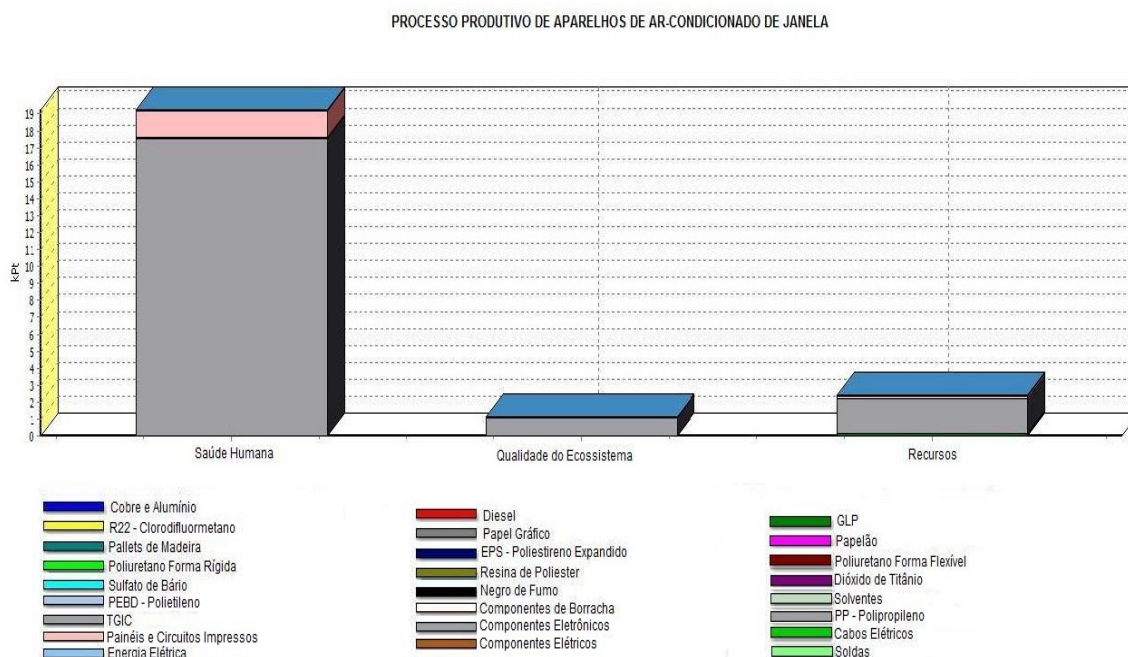
impactos relativos a essa categoria são os efeitos cancerígenos, os efeitos respiratórios orgânicos e inorgânicos, a mudança climática, a radiação iônica e a depleção da camada de ozônio.

Os danos à qualidade do ecossistema compreendem os efeitos da extinção de espécies ao longo de uma determinada área, durante certo período de tempo. Na produção de aparelhos de ar-condicionado os maiores geradores de impactos ao ecossistema são os componentes eletrônicos, os painéis e circuitos impressos, os componentes elétricos, e as matérias-primas cobre e alumínio. As categorias de impacto voltadas para esses danos incluem a ecotoxicidade, a acidificação e eutrofização, e o uso da terra.

Já os danos aos recursos, expressam a energia necessária para futuras extrações de recursos minerais e combustíveis fósseis. Na produção de aparelhos de ar-condicionado, as substâncias que causam maiores danos aos recursos, em ordem decrescente, são os componentes eletrônicos, os painéis e circuitos impressos, o GLP, os componentes elétricos, a solda, e as matérias-primas cobre e alumínio.

Considerando a ponderação desses resultados, realizada pelo SimaPro 7.3, vê-se claramente, a intensidade e a concentração desses danos na categoria de impactos ambientais à saúde humana, conforme apresentado na Figura 39.

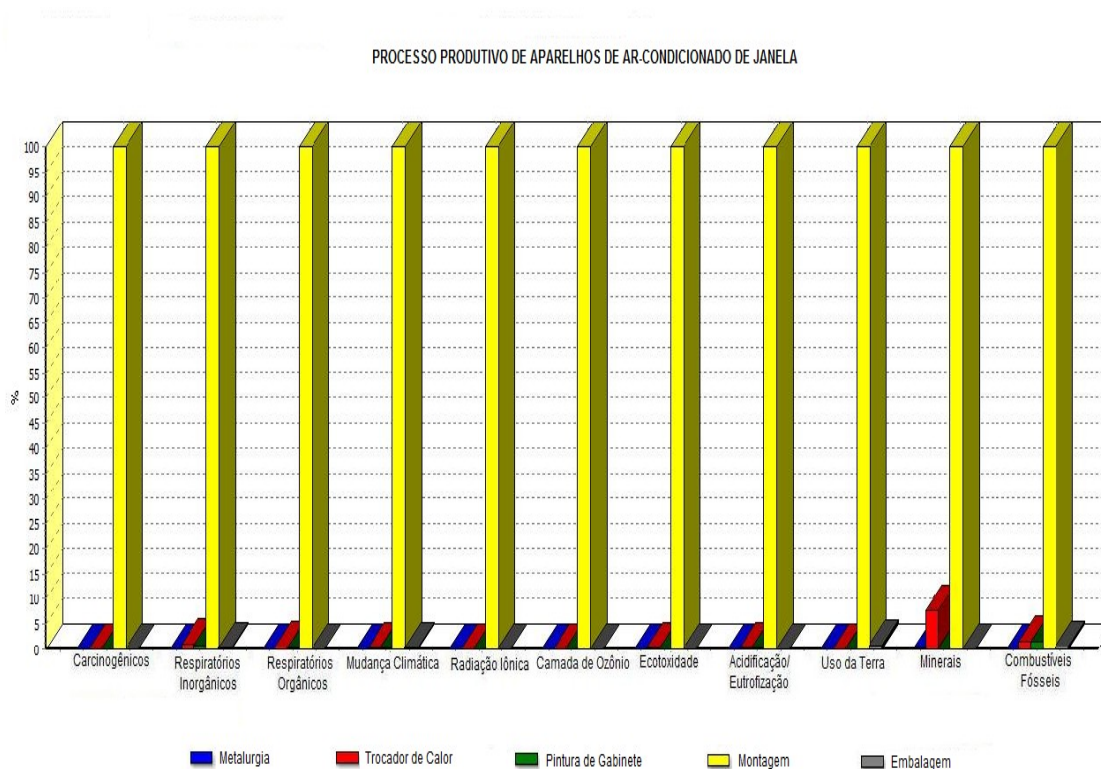
Figura 37: Ponderação dos Impactos ambientais por categorias de danos no processo de produção de aparelhos de ar-condicionado de janela



A pontuação de impacto registra a média de 19,2 kPt para danos à saúde humana, 2,41 kPt para danos aos recursos e 1,17 kPt para as ameaças à qualidade do ecossistema. Esse resultado indica, mais uma vez, que a maior contribuição dos impactos recaem nos componentes eletrônicos e nos painéis e circuitos impressos, utilizados como insumos da produção.

Analisando as etapas de produção do sistema produtivo de aparelhos de ar-condicionado de janela, constata-se que os impactos gerados estão distribuídos de acordo com a Figura 37.

Figura 38: Impactos ambientais gerados nas etapas de produção de aparelhos de ar-condicionado de janela



Fonte: PRE CONSULTANTS, 2006.

De acordo com o gráfico, as etapas de produção de aparelhos de ar-condicionado de janela que mais contribuem para os impactos ambientais potenciais, em uma escala decrescente de valores, são a montagem, o trocador de calor, a pintura de gabinete e a embalagem.

A montagem é a etapa de maior carga ambiental, se comparada às outras fases do processo, apresentando 100% de impacto em todas as categorias apresentadas. Isso ocorre em função das entradas e saídas envolvidas na linha de montagem. As responsáveis pelos

impactos ambientais mais expressivos são os componentes eletrônicos, os painéis e circuitos impressos e os componentes elétricos. Os principais impactos, em ordem de importância, são os efeitos carcinogênicos, a utilização dos combustíveis fósseis, os efeitos respiratórios inorgânicos, o potencial de ecotoxicidade, o potencial para mudanças climáticas, a extração de minerais, o uso da terra e os potenciais de acidificação e eutrofização.

Os componentes eletrônicos contribuem para todas as categorias de impactos relacionadas; os painéis e circuitos impressos colaboram para os efeitos carcinogênicos, os combustíveis fósseis e as mudanças climáticas; os componentes elétricos agravam os combustíveis fósseis; já o cobre e o alumínio não constituem impactos significativos frente aos outros insumos, mas cooperam para a extração de recursos minerais.

No trocador de calor, os insumos mais importantes para os impactos ao meio ambiente, são o GLP, a solda, o cobre e o alumínio, o polietileno de baixa densidade (PEBD) e o polipropileno (PP). O GLP contribui para os combustíveis fósseis, para os respiratórios inorgânicos, para as mudanças climáticas, para os carcinogênicos, e para a acidificação e eutrofização; a solda colabora em maior grau para a extração de recursos minerais, para os efeitos respiratórios inorgânicos, para a utilização de combustíveis fósseis, para os efeitos carcinogênicos e para as mudanças climáticas; o cobre e alumínio cooperam para a extração de recursos minerais e para o potencial de ecotoxicidade; o PEBD colabora com os combustíveis fósseis e as mudanças climáticas; e o PP contribui para o agravamento dos combustíveis fósseis e para os efeitos respiratórios inorgânicos.

Na pintura de gabinete a substância que mais concorre para os impactos potenciais é o GLP que acarreta, em ordem de importância, impactos para os combustíveis fósseis, para os respiratórios inorgânicos, para as mudanças climáticas, para os carcinogênicos e para a acidificação e a eutrofização. Outros insumos significativos para essa fase do processo são os solventes que cooperam também para o uso de combustíveis fósseis; o cobre e o alumínio que colaboram para o uso da terra, os recursos minerais e a radiação iônica; e a resina de poliéster e o dióxido de titânio que contribuem para a radiação iônica e os recursos minerais. Os dois últimos compõem a tinta pó, utilizada para a pintura dos gabinetes.

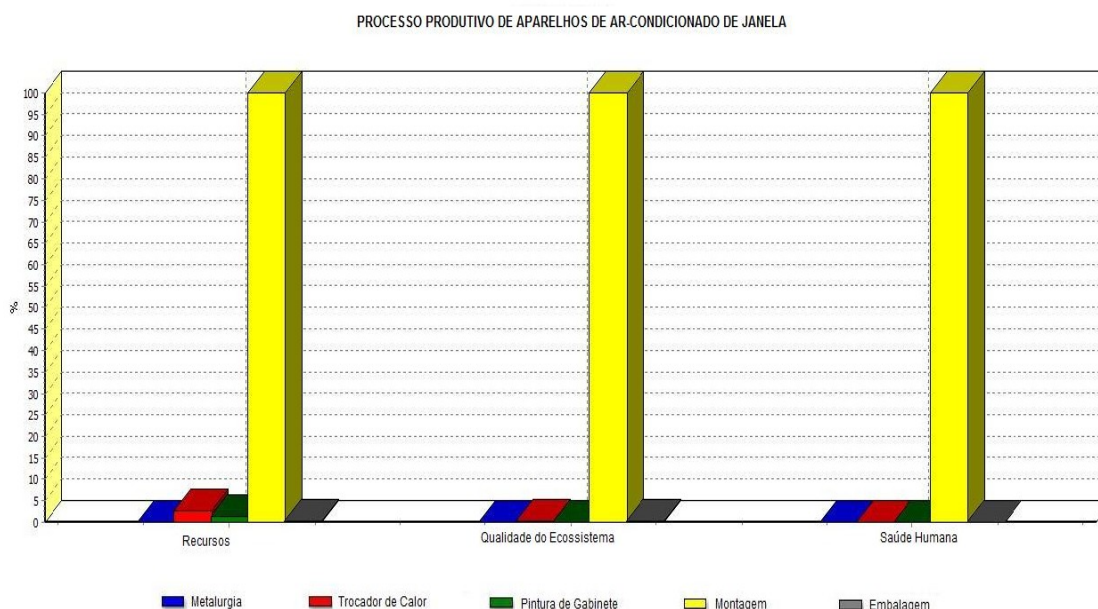
Na embalagem do produto, os insumos que geram mais impactos são o polietileno de baixa densidade, o EPS, os *pallets* de madeira, o polipropileno e o papel para impressão. A hierarquização dos impactos indica que o PEBD contribui para o uso de combustíveis fósseis, para os efeitos respiratórios inorgânicos, para as mudanças climáticas e para os potenciais de

acidificação e eutrofização; o EPS assume os mesmos impactos que o PEBD, colaborando ainda, para a ecotoxicidade; os *pallets* e o papel gráfico contribuem para todas as categorias de impactos; já o PP contribui para os combustíveis fósseis, para os efeitos respiratórios inorgânicos e para as mudanças climáticas.

A metalurgia não concorre para impactos ambientais, quando comparada às fases de maiores impactos, pois é a etapa que envolve menos entradas e saídas de todo o processo de produção de aparelhos de ar-condicionado de janela. Nessa etapa entra aço, solda e energia elétrica. De todos eles, a solda é a maior geradora de impactos potenciais, contribuindo para todas as categorias de danos avaliadas, em especial para a extração de minerais, para os efeitos respiratórios inorgânicos, para os combustíveis fósseis, para os carcinogênicos e para as mudanças climáticas.

Avaliando os danos às categorias de danos à saúde humana, ao ecossistema e aos recursos, a Figura 38 destaca as etapas do processo de produção responsáveis pelos impactos ambientais mais expressivos.

Figura 39: Avaliação de danos por etapas de produção de aparelhos de ar-condicionado de janela



Fonte: PRE CONSULTANTS, 2006.

O gráfico mostra a hierarquização das categorias de danos por etapas do processo, evidenciando que os danos aos recursos naturais são mais marcantes, uma vez que três das cinco etapas consideradas oferecem perigos a essa categoria. São elas: montagem, trocador de

calor e pintura de gabinetes, em ordem decrescente de contribuição de impactos. Relacionado às ameaças à qualidade do ecossistema os danos provenientes da montagem e do trocador de calor são mais expressivos. Finalmente, no que diz respeito à saúde humana, somente a montagem caracteriza maiores riscos ambientais.

O transporte interno não foi analisado, em decorrência da ausência de dados que permitisse a construção de um inventário completo e substancial para essa etapa do processo. Portanto, para não interferir nos resultados e não induzir falsas avaliações, os dados sobre esse elemento foram desconsiderados.

Vale ressaltar que os materiais de maior expressividade e os impactos ambientais potenciais citados na avaliação ambiental do processo produtivo dos aparelhos de ar-condicionado foram relacionados e citados em ordem de importância e ordem decrescente de impactos.

4.5.4 Interpretação do ciclo de vida

A interpretação do ciclo de vida requer a identificação de questões significativas para a avaliação ambiental do processo produtivo de aparelhos de ar-condicionado de janela, fundamentadas na Análise de Impacto do Ciclo de Vida, no inventário do ciclo de vida e nos objetivos da ACV e da pesquisa. Essa interpretação representa a discussão dos resultados da pesquisa. Com base nos resultados e na discussão dos resultados, foram estabelecidas as conclusões e as recomendações do estudo.

A Avaliação ambiental do processo produtivo de aparelhos de ar-condicionado de janela foi desenvolvida através da ferramenta Análise do Ciclo de Vida, com o objetivo de identificar os aspectos ambientais e os impactos potenciais envolvidos nesse sistema de produção. Tal avaliação foi concretizada a partir da reunião de dados quantitativos e qualitativos para análise e hierarquização dos impactos ambientais; da identificação dos fluxos de entrada e saída de recursos, energia e emissões associadas ao produto; e da caracterização e avaliação de danos relativos à manufatura desses aparelhos.

Os aspectos ambientais são todos os elementos das atividades, produtos ou serviços de uma organização que podem interagir com o meio ambiente. Já os impactos potenciais são as alterações do meio ambiente, provenientes da ação humana (ABNT NBR ISO 14040:2009). Em decorrência disso, todo produto ou processo acarreta impactos ao meio ambiente. O processo produtivo de aparelhos de ar-condicionado de janela não é diferente nesse aspecto,

pois envolve uma carga ambiental que compromete a qualidade da saúde humana, do ecossistema, e dos recursos naturais.

A avaliação ambiental da produção de aparelhos de ar-condicionado de janela constatou que os principais elementos causadores de impactos ambientais potenciais são, em escala de expressividade, os componentes eletrônicos, os painéis e circuitos impressos, os componentes elétricos, os cabos e redes elétricas, o GLP, o cobre e o alumínio, a solda, os *pallets* de madeira e o refrigerante R22. Já os impactos de maior significância ambiental, causados por esses elementos são os efeitos carcinogênicos, a utilização de combustíveis fósseis, os efeitos respiratórios inorgânicos, o potencial de ecotoxicidade, o potencial para as mudanças climáticas, a extração de recursos minerais, o uso da terra, e os potenciais de acidificação e eutrofização.

Vale ressaltar que a avaliação ambiental considerou somente os impactos potenciais associados ao processo produtivo de aparelhos de ar-condicionado de janela, uma vez que a ACV abrange muitos processos e diferentes estágios do ciclo de vida do produto, impossibilitando a definição dos impactos reais e efetivos. Produtos como o GLP, a eletricidade, o diesel, o poliuretano, o polipropileno, o EPS e o polietileno de baixa densidade, assim como todas as matérias-primas, os insumos e as emissões, consideram também como entrada, os dados de subprocessos relacionados a esses insumos, que estão contidos nos bancos de dados do SimaPro 7.3.

Observando os resultados e os gráficos apresentados na AICV, é notória a prevalência dos efeitos carcinogênicos, da utilização de combustíveis fósseis e dos efeitos respiratórios inorgânicos entre os impactos gerados pelo processo produtivo de aparelhos de ar-condicionado de janela. É evidente, também, a recorrência dos componentes eletrônicos, dos painéis e circuitos impressos e dos componentes elétricos como principais causadores desses impactos, seja na análise do processo produtivo ou na avaliação das etapas de produção.

Os efeitos carcinogênicos pertencem à categoria de danos à saúde humana e consistem nas implicações relativas às emissões de substâncias cancerígenas no ar, na água e no solo; os combustíveis fósseis estão na categoria de danos aos recursos e são caracterizados pela energia excedente por MJ, kg ou m³ de combustível fóssil extraído; e os efeitos respiratórios inorgânicos envolvem as consequências respiratórias provenientes das emissões de poeira, enxofre e óxidos de nitrogênio no ar, e também representam danos à saúde do homem.

No processo produtivo analisado, esses impactos se justificam em função da composição das matérias-primas, dos insumos e dos resíduos envolvidos na manufatura. Portanto, se faz necessária uma análise da natureza dos componentes eletrônicos, dos painéis e circuitos impressos e dos componentes elétricos, por serem estes os principais responsáveis pelos impactos ambientais mencionados.

Os componentes eletrônicos reúnem elementos como capacitores, relés, resistores, conectores, indutores, fusíveis, *leds*, diodos, sensores, controle remoto, microcontroladores, transistores, pilhas, placas eletrônicas, dentre outros.

Lopez (1997) destaca a composição de alguns desses componentes:

- Os capacitores são feitos de óxido metálico e o dielétrico de composição variada, podendo ser de material cerâmico, de óxido de alumínio, de tântalo, de quartzo ou de plástico (poliéster, poliéster metalizado, poliestireno ou policarbonato);
- Os relés são bobinas com núcleo de ferro, encapsulados em invólucros plásticos;
- Os resistores são, geralmente, feitos de carbono, um elemento químico de alta resistividade;
- Os conectores são confeccionados, em geral, de material isolante como baquelite ou resina fenólica, com contatos de latão niquelado;
- Os indutores são bobinas de cobre, apresentando um núcleo de ar ou de ferro que define suas características;
- Os fusíveis são construídos com ligas de estanho ou de chumbo, além de cádmio, bismuto e mercúrio;
- Os leds ou lâmpadas são dispositivos fabricados com semicondutores de gálio, formados por um filamento metálico, no interior de um bulbo de vidro, em que a luz é produzida a partir da incandescência do filamento. Outro tipo de LED é a lâmpada sem filamento, constituída de uma ampola de gás neônio com eletrodos espaçados, em que a luz é resultado da ionização desse gás;
- Os diodos também denominados semicondutores são constituídos de germânio ou silício;
- Os transistores são fabricados com o silício, o germânio, o gálio e alguns óxidos, sendo o silício o mais utilizado;

- As pilhas são compostas de dióxido de manganês e zinco poroso imerso em uma solução alcalina de hidróxido de potássio, de hidróxido de sódio ou de cloreto de amônia (no caso da pilha comum). Esse material é envolvido por uma capa de aço niquelado, além de um separador feito de papel e de um isolante de nylon.

Os painéis e circuitos impressos compreendem principalmente as placas de circuitos impressos (PCI), o *Display* de Cristal Líquido (LCD), as bifenilas policloradas (PCB) os capacitores diversos e os conectores. Segundo Lopez (1997), as placas de circuitos impressos são feitas de material isolante como papel com resina fenólica, fibra de vidro aglomerada com resina epóxi ou teflon. Aderida ao material isolante existe uma folha de cobre eletrolítico que atua como condutor. O adesivo para colagem é composto de uma mistura de resinas que pode ser fenólica, epóxi ou vinílica. Todo esse material é prensado para preparar a PCI que recebe os componentes como resistores, capacitores, diodos, etc. Nesse grupo de materiais estão também as bifenilas policloradas que constituem uma classe de compostos organoclorados que são utilizados como fluidos dielétricos em transformadores e condensadores, lubrificantes hidráulicos, tintas e adesivos.

Já os componentes elétricos incluem as chaves seletoras, as bobinas solenoides, as barras de terminais, os capacitores, os transformadores, as válvulas de reversão, as baterias, os protetores térmicos e a caixa elétrica. As chaves seletoras são compostas por baquelite, uma resina sintética resultante da junção do fenol com o formaldeído; as bobinas solenoides são fabricadas em forma de espira envolta em um recipiente metálico com um núcleo que pode ser de ar, de ferro ou de ferrita; e os transformadores são constituídos de bobinas feitas de cobre eletrolítico, revestidas com uma camada de verniz sintético como isolante, e placas de material ferromagnético ou de óxido de ferro com núcleo de aço ou silício (LOPEZ, 1997; VASSALLO, 2004).

Os componentes elétricos e eletrônicos, os painéis e circuitos impressos, e os cabos e redes elétricas são usados nos sistemas elétricos e eletrônicos dos aparelhos de ar-condicionado de janela. Para Rodrigues (2007), os principais materiais utilizados na fabricação desses componentes e de seus resíduos são: alumínio, cobre, chumbo, mercúrio, arsênio, zinco, cádmio, cromo hexavalente, retardantes de chama bromados e halogenados, metais pesados raros como ouro, prata, tálio, gálio e berílio, além de plásticos, vidros e cerâmicas.

Como se pode observar, tais componentes são fabricados por materiais, elementos e compostos químicos diversos. Alguns deles representam riscos à saúde humana e impactos ao meio ambiente. Rodrigues (2007) ressalta que, segundo o Conselho Nórdico de Ministros, os materiais que apresentam maiores riscos ao meio ambiente e a saúde humana são os metais tóxicos como chumbo, mercúrio, cádmio, arsênio e cromo; os gases de efeito estufa; as bifenilas policloradas; as substâncias halogenadas; e os retardantes de chama bromados.

O Quadro 4 apresenta algumas substâncias utilizadas no processo produtivo de aparelhos de ar-condicionado de janela e seus efeitos na saúde humana.

Quadro 4: Substâncias tóxicas e os danos à saúde humana

SUBSTÂNCIA	USO	EXPOSIÇÃO	DANOS À SAÚDE
Arsênio	Fabricação de diodos.	Nos postos de trabalho e próximo de aterros de resíduos perigosos.	Em níveis elevados pode levar à morte; em níveis mais baixos e exposição continuada pode causar descoloração da pele.
Berílio	Fabricação de componentes elétricos e eletrônicos.	Nos locais de extração ou processamento do material; e na reciclagem.	Em níveis elevados causa danos aos pulmões; a exposição continuada pode desenvolver a doença crônica do berílio e aumento do risco de câncer de pulmão.
Cádmio	Resistores e semicondutores.	Nos locais de fabricação de produtos que contém cádmio; No ar das fabricas de baterias, revestimentos ou plásticos; No ar da fundição e refino de metais.	Provoca danos aos pulmões, rins e aparelho digestivo; é um agente cancerígeno para seres humanos.
Chumbo	Soldagem dos circuitos impressos e outros componentes eletrônicos.	Em aterros contaminados por resíduos de chumbo; nos locais de trabalho, através da poeira; na reciclagem de equipamentos eletrônicos; na ingestão de água e alimentos contaminados.	Causa danos aos rins, sistema nervoso central e periférico, sistema endócrino e sanguíneo.
Mercúrio	Termostatos, lâmpadas, termômetros de vidro, baterias, interruptores elétricos, relés, e chaves.	Pela inalação do ar; na ingestão de água e alimentos contaminados; nas fabricas de equipamentos elétricos e eletrônicos, de peças automotivas ou de produtos químicos.	Em níveis elevados pode causar danos ao cérebro, rins e feto em formação; os efeitos no cérebro podem provocar irritabilidade, timidez, tremores, alterações na visão ou audição e perda de memória.
Tálio	Fabricação de dispositivos eletrônicos e interruptores elétricos.	Nos locais de trabalho.	Em níveis elevados no ar, podem causar danos ao sistema nervoso; a ingestão pode causar vômito, diarreia e perda de cabelo.
Bifenilas Policloradas	Transformadores, capacitores e outros equipamentos eletrônicos como fluido, lubrificante e isolante.	Nos locais de resíduos perigosos; no uso de dispositivos elétricos fluorescentes antigos; nos postos de trabalho; e na fabricação de transformadores.	Pode causar problemas de pele em adultos e mudanças neurológicas e comportamentais em crianças; é cancerígeno para os animais.

Fonte: Adaptado de RODRIGUES, 2007.

As substâncias químicas presentes nos componentes eletrônicos, como mercúrio, cádmio, arsênio, cobre, chumbo e alumínio, penetram no solo e nos lençóis freáticos

contaminando plantas e animais por meio da água, podendo provocar a contaminação da população através da ingestão desses produtos.

Bizzo (2007) destaca as principais causas de impactos ambientais associados à utilização dos componentes elétricos e eletrônicos. São eles:

- A utilização de recursos naturais não renováveis de metais e derivados de petróleo;
- O alto consumo de energia envolvido desde a extração da matéria-prima até o consumo do produto, considerando o transporte, o beneficiamento e a manufatura;
- O uso de substâncias tóxicas na manufatura de produtos que contribuem para o aumento do potencial de ecotoxicidade e a contaminação dos recursos hídricos, do solo e do ar atmosférico;
- O aumento da demanda do produto em função da miniaturização dos componentes utilizados, tornando o produto mais acessível economicamente, porém com uma demanda maior de produtos, recursos e resíduos;
- A utilização de variados tipos e tamanhos de materiais, dificultando a desmontagem e a separação das peças e impossibilitando a reciclagem, a reutilização e a valorização comercial dos componentes; e,
- A disposição final inapropriada dos resíduos gerados que provocam a destruição do ambiente natural.

Bizzo (2007) menciona ainda, os impactos econômicos oriundos dos resíduos eletroeletrônicos, destacando os custos devido ao esgotamento de recursos naturais e a gestão de resíduos; e os custos com tratamento de saúde e recuperação de áreas contaminadas.

Todas as matérias-primas e os insumos utilizados no processo produtivo de aparelhos de ar-condicionado de janela geram impactos ao meio ambiente, em maior ou menor grau, uma vez que produzem resíduos que provocam alterações ambientais. A produção de resíduos e poluentes no processo produtivo de aparelhos de ar-condicionado de janela ocorre principalmente, no tratamento e acabamento superficial das peças; na soldagem dos componentes; na manufatura; e na embalagem do produto.

Os resultados obtidos na pesquisa são de extrema importância, uma vez que constituem subsídios para novos projetos de produtos que levem em consideração questões ambientais como a preservação dos recursos naturais e do ecossistema. A identificação dos impactos potenciais gerados pelo processo produtivo de aparelhos de ar-condicionado de

janela possibilita a percepção dos elementos que interagem com o meio ambiente e os danos ambientais resultantes dessas interações. A partir disso, é possível estabelecer parâmetros sustentáveis para a manufatura desses aparelhos, como a seleção de matérias-primas e de insumos que minimizem a extração de recursos e a geração de resíduos ao longo do ciclo de vida do produto.

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho objetivou a avaliação dos aspectos ambientais e impactos potenciais envolvidos no processo produtivo de aparelhos de ar-condicionado de janela, através da utilização da ferramenta Análise do Ciclo de Vida.

Com base nos resultados obtidos e levando em conta as limitações da pesquisa, considera-se que os objetivos do trabalho foram atendidos em sua totalidade, pois a partir dele se tornou possível a construção de um referencial de pesquisa para análise e compreensão de questões relativas ao setor produtivo de aparelhos de ar-condicionado. Vale ressaltar que a intenção não foi a de esgotar o assunto, mas a de transformar esse estudo em um ponto de partida para discussão e entendimento do tema em questão.

A avaliação ambiental do sistema de produção de aparelhos de ar-condicionado de janela permitiu tecer algumas considerações importantes para o conhecimento do processo produtivo de aparelhos de ar-condicionado de janela e sua contribuição para os impactos ambientais potenciais. Tal avaliação constatou que:

- Todas as matérias-primas, os insumos e as emissões envolvidos no sistema de manufatura dos aparelhos de ar-condicionado de janela geram impactos potenciais, em maior ou menor grau;
- Dentre os insumos considerados, os componentes eletrônicos, os painéis e circuitos impressos e os componentes elétricos representam a maior carga ambiental no processo produtivo de aparelhos de ar-condicionado de janela, em função da diversidade de elementos e compostos químicos presentes em suas composições; e da presença de substâncias tóxicas que acarretam danos à saúde humana, ao ecossistema e a extração de recursos;
- Os principais impactos potenciais para os quais esses insumos contribuem, são os efeitos carcinogênicos, a utilização de combustíveis fósseis e os efeitos respiratórios inorgânicos;
- Os componentes elétricos e eletrônicos e os painéis e circuitos impressos são usados nos sistemas elétricos e eletrônicos dos aparelhos de ar-condicionado de janela e são fabricados por materiais, elementos e compostos químicos diversos como alumínio, cobre, chumbo, mercúrio, zinco, arsênio, cádmio, cromo hexavalente, retardantes de chama bromados e halogenados, metais pesados raros como ouro, prata, tálio, gálio e berílio, além de plásticos,

vidros e cerâmicas. Alguns deles representam riscos à saúde humana e impactos expressivos ao meio ambiente;

- Os materiais que apresentam maiores riscos ao meio ambiente e a saúde humana são os metais tóxicos como chumbo, mercúrio, cádmio, arsênio e cromo; os gases de efeito estufa; as bifenilas policloradas; as substâncias halogenadas; e os retardantes de chama bromados. Os efeitos para a saúde humana dependem da intensidade dos fatores de risco como o nível de exposição e a forma de contaminação. Dentre eles estão os problemas de pele, o aumento da possibilidade de desenvolver câncer, o comprometimento dos pulmões, dos rins, do sistema nervoso e do cérebro, além de complicações mais leves como vômito, diarreia, irritabilidade e tremores;
- Os elementos químicos como mercúrio, cádmio, arsênio, cobre, chumbo e alumínio presentes nos componentes elétricos e eletrônicos afetam os recursos naturais através da extração de minerais e comprometem a qualidade do ecossistema, penetrando no solo e nos lençóis freáticos contaminando plantas e animais por meio da água, podendo provocar a contaminação da população através da ingestão desses produtos;
- Dentre as principais causas de impactos ambientais associados à utilização dos componentes elétricos e eletrônicos, estão: a utilização de recursos naturais não renováveis de metais e derivados de petróleo; o consumo de energia envolvido no ciclo de vida do produto; e o uso de substâncias tóxicas na manufatura de produtos que contribuem para o aumento do potencial de ecotoxicidade e a contaminação dos recursos hídricos, do solo e do ar atmosférico;
- Depois dos componentes elétricos e eletrônicos e dos painéis e circuitos impressos, o GLP, o cobre e o alumínio, a solda, os *pallets* e o clorodifluormetano são, em ordem de importância, os outros materiais que causam maior impacto ao meio ambiente. Os principais impactos potenciais associados a esses insumos são, respectivamente, a utilização de combustíveis fósseis, a extração de recursos minerais (para os metais e a solda), o uso da terra e o potencial para mudanças climáticas;
- Os impactos potenciais causados pelo processo produtivo de aparelhos de ar-condicionado de janela abrangem as categorias de danos à saúde humana, à qualidade do ecossistema e aos recursos naturais. A ponderação dos resultados indica que os danos à saúde humana são os mais expressivos. Mais uma vez, são os componentes eletrônicos, os painéis e circuitos impressos e os componentes elétricos os principais responsáveis pelos danos citados;

- A etapa do sistema de manufatura dos aparelhos de ar-condicionado de janela que mais impacta o meio ambiente é a montagem, seguida do trocador de calor, da pintura de gabinete, da embalagem e por fim da metalurgia. Na montagem entram os componentes elétricos e eletrônicos e os painéis e circuitos impressos, e saem resíduos e sucatas desse material, o que justifica esse resultado;
- No trocador de calor e na pintura de gabinetes, o maior responsável pelos impactos potenciais é o GLP que contribui principalmente, para a utilização de combustíveis fósseis, para os efeitos respiratórios inorgânicos e para as mudanças climáticas;
- Na etapa de embalagem do produto os insumos que geram mais impactos são os plásticos, em especial o polietileno de baixa densidade, que contribui principalmente para o uso de combustíveis fósseis, para os efeitos respiratórios inorgânicos e para as mudanças climáticas;
- A metalurgia apresenta menor carga ambiental para o processo, uma vez que envolve menor quantidade de entradas de insumos e saídas de resíduos. Dentre eles, a solda é a maior geradora de impactos potenciais, cooperando para a extração de recursos minerais, para os efeitos respiratórios inorgânicos e para o uso de recursos não renováveis como os combustíveis fósseis.

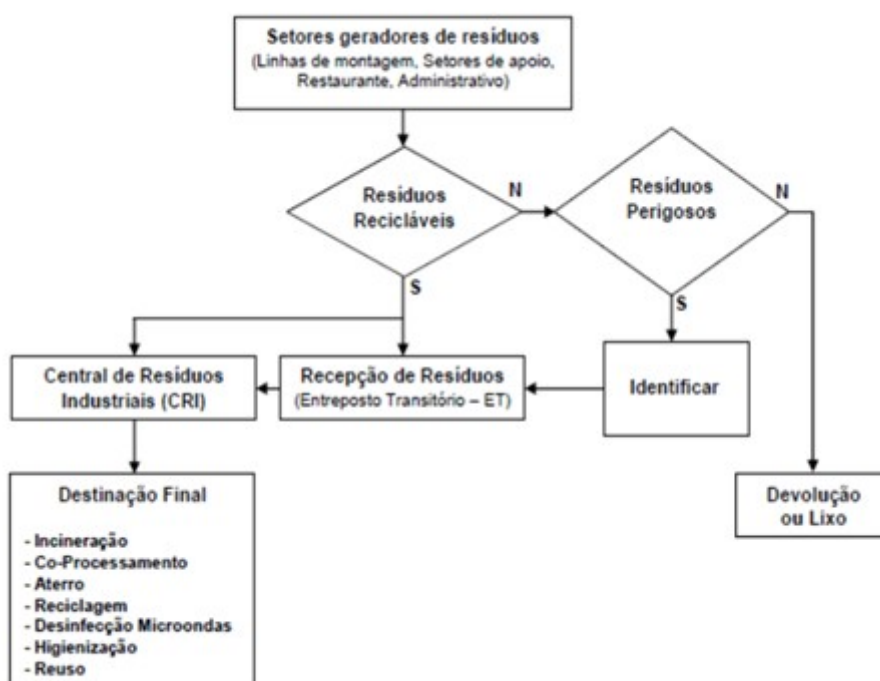
A produção de resíduos e poluentes no processo produtivo de aparelhos de ar-condicionado de janela ocorre principalmente, no tratamento e acabamento superficial das peças, na soldagem dos componentes, na manufatura e na embalagem do produto. A Electrolux da Amazônia Ltda possui um plano de gerenciamento ambiental que desenvolve atividades direcionadas para a eliminação ou minimização dos impactos ambientais gerados na manufatura desses aparelhos.

Essa gestão ambiental é fundamentada no conceito de sustentabilidade, com ações voltadas para a melhoria do desempenho ambiental de seus processos e produtos. As atividades da empresa envolvem ações preventivas e medidas mitigadoras que assegurem a conformidade com as leis ambientais e a implementação de programas de prevenção aos impactos ambientais. Tais atividades compreendem a realização de auditorias nos prestadores de serviços ambientais e acompanhamento dos licenciamentos ambientais; a estipulação de objetivos e metas para redução do consumo de água e energia; a busca por alternativas tecnológicas mais limpas e matérias-primas menos tóxicas e agressivas; a disponibilização de recursos para investimento em modificações de processo, qualificação de mão de obra, substituição de insumos e redução da geração de resíduos; o acompanhamento, através de

laudos físico-químicos e bacteriológicos, quando aplicável, dos efluentes industriais e domésticos e das emissões atmosféricas; e o controle e monitoramento da coleta, do transporte e da destinação final dos resíduos industriais que incluem os resíduos sólidos, os efluentes industriais e as emissões atmosféricas.

Os resíduos sólidos do processo produtivo dos aparelhos de ar-condicionado de janela são coletados, identificados e enviados à área da Central de Resíduos Industriais (CRI), da planta Jutáí, conforme Instrução Ambiental de Coleta Seletiva da empresa. Os resíduos orgânicos e os resíduos do serviço de saúde não passam pela CRI, pois são enviados diretamente ao destinador final. Os outros resíduos passam por um processo de triagem e separação, quando necessário, e são acondicionados em contentores, devidamente identificados para que seja efetuada a destinação final. O responsável pela CRI acompanha a coleta e a pesagem dos resíduos, para em seguida enviá-los ao respectivo prestador de serviço ambiental (reciclador) para destinação em acordo com o tipo de material. O fluxo de controle de coleta desses resíduos é esquematizado na Figura 40.

Figura 40: Fluxograma de controle da coleta de resíduos sólidos



Fonte: ELECTROLUX DA AMAZÔNIA LTDA, 2012.

Os resíduos principais são papel e papelão recicláveis, plásticos recicláveis, metais ferrosos e não ferrosos, vidros, madeira e borracha, resíduos orgânicos, resíduos do serviço de saúde, resíduos não recicláveis e resíduos perigosos. Após análise são direcionados para a

destinação adequada como aterro controlado, incineração, reciclagem e coprocessamento. O Quadro 5 mostra os resíduos produzidos, seu destino e o reciclador para qual é encaminhado.

Quadro 5: Resíduos do processo produtivo da Electrolux e sua destinação

RESÍDUO	DESTINAÇÃO	RECICLADOR
Sucata de cobre, alumínio e aço	Reciclagem para transformação em matéria-prima	Cometais – Indústria e Comércio de Metais Ltda
EPS	Reciclagem para transformação em matéria-prima	Industrial Oriente de Polímeros Ltda
Poliuretano	Coprocessamento em fornos de cimento	Amazomix Ltda
Madeira	Reutilização dos <i>Pallets</i>	Cometais – Indústria e Comércio de Metais Ltda
Papel e papelão	Reciclagem para transformação em matéria-prima	Cometais – Indústria e Comércio de Metais Ltda
Pilhas	Destruição térmica	Amazomix Ltda
Plástico	Reciclagem para transformação em matéria-prima	Cometais – Indústria e Comércio de Metais Ltda
Sucata de evaporador/condensador	Reciclagem para transformação em matéria-prima	Cometais – Indústria e Comércio de Metais Ltda
Sucata de placas eletrônicas	Destruição térmica	Cometais – Indústria e Comércio de Metais Ltda
Tinta pó	Reutilização	Cometais – Indústria e Comércio de Metais Ltda
Borracha	Coprocessamento em fornos de cimento	Amazomix Ltda
Vidro	Coprocessamento em fornos de cimento	Amazomix Ltda
Resíduos Perigosos	Coprocessamento em fornos de cimento	Amazomix Ltda
Resíduos não recicláveis	Aterro municipal	Rio Limpo Indústria e Comércio de Resíduos Ltda
Borra de tinta	Coprocessamento em fornos de cimento	Amazomix Ltda
Borra da ETE	Coprocessamento em fornos de cimento	Amazomix Ltda
Bombonas plásticas	Reciclagem para transformação em matéria-prima	Cometais – Indústria e Comércio de Metais Ltda
Lodo químico	Coprocessamento em fornos de cimento	Amazomix Ltda
Lodo de fossa séptica	Tratamento Biológico	Presgel Prestação de Serviços Ltda
Resíduos orgânicos	Aterro municipal	Rio Limpo Indústria e Comércio de Resíduos Ltda
Resíduos do serviço de saúde	Destruição térmica	Amazomix Ltda

Fonte: Adaptado de ELECTROLUX DA AMAZÔNIA LTDA, 2012.

O tratamento dos efluentes industriais gerados no processo produtivo dos aparelhos de ar-condicionado se inicia com a separação dos resíduos em efluentes ácidos, alcalinos e oleosos, para serem dispostos nos respectivos tanques coletores. A partir disso, passam pelo tratamento físico-químico na Estação de Tratamentos de Efluentes (ETE), de acordo com o

que estabelece a legislação ambiental vigente. Os parâmetros químicos são analisados para garantir o atendimento dos valores máximos e mínimos permitidos para descarte, de acordo com o que determina a norma.

Já as emissões atmosféricas são monitoradas somente na pintura de gabinete. O procedimento de amostragem é feito a cada três anos e, segundo a Electrolux da Amazônia Ltda, os resultados obtidos indicam valores sempre abaixo do permitido pela legislação ambiental. Os parâmetros analisados são utilizados para julgar a eficiência do processo industrial e servem de referência para avaliação de controle ambiental da empresa.

Preocupada com as questões ambientais e com a preservação dos recursos utilizados, A Electrolux da Amazônia Ltda instituiu programas de racionalização de consumo de materiais, água e energia em seus processos produtivos. Foram implantados os Programas de Gestão Ambiental (PGA), com o objetivo de reduzir o consumo de água e energia elétrica através de ações como: a substituição de equipamentos com maior eficiência energética; a realização de campanhas de sensibilização e conscientização envolvendo todos os funcionários; a implementação do programa de caça aos vazamentos permitindo a substituição de tubulações com problemas; e a implantação do sistema de gerenciamento de água e energia possibilitando a identificação dos setores que apresentam maior consumo.

Com a concretização dessas ações, constatou-se uma redução de 6% no consumo de energia elétrica no 1º semestre e de 22% no 2º semestre, do ano de 2011. Em relação ao consumo de água, a redução foi de 20% no 1º semestre e de 31% no 2º semestre, do mesmo ano.

Embora a empresa apresente uma preocupação evidente com as questões ambientais, é fundamental que se instituem ações que extrapolem os portões da fábrica e envolvam todo o ciclo de vida do produto. Os aparelhos de ar-condicionado de janela, manufaturados na Electrolux da Amazônia Ltda, vão contribuir para o agravamento do aumento de produtos eletroeletrônicos descartados, após o final de sua vida útil. Como esses produtos não retornam ao seu fabricante, a carga ambiental se concentrará na disposição do produto, nem sempre adequada.

A Electrolux da Amazônia Ltda ainda não possui uma estratégia de reuso e reciclagem dos elementos básicos e dos componentes que constituem os aparelhos de ar-condicionado, a fim de incorporá-los novamente à manufatura de novos produtos, reduzindo a necessidade de extração de recursos, o consumo de energia e a produção de resíduos. A recuperação desses

componentes pode representar benefícios ao meio ambiente e uma fonte de matéria-prima para a indústria. A logística reversa é uma alternativa eficaz para o gerenciamento dos resíduos gerados na manufatura e no descarte do produto.

A logística reversa é um mecanismo de ação que possibilita o retorno do produto ou de seus materiais constituintes ao ciclo produtivo, agregando valor econômico e ambiental. Essas atividades podem estar voltadas para a reciclagem, o reprocessamento ou o descarte. A adoção dessa prática oferece benefícios à empresa e a sociedade. Além de agregar valor ao produto e ao processo, também é um diferencial competitivo para as empresas.

No que diz respeito ao meio ambiente, a logística reversa contribui para a redução dos impactos ambientais potenciais e da disposição indevida de resíduos, visto que algumas matérias-primas serão substituídas pelas matérias-primas recicladas e os resíduos serão encaminhados, em um fluxo reverso, aos fabricantes para serem reaproveitados.

Nesse contexto, a empresa deve ter uma preocupação adicional e um cuidado maior na seleção das matérias-primas e insumos inseridos no processo produtivo, escolhendo processos mais limpos e concebendo produtos que promovam o reuso, a reciclagem e a disposição adequada de resíduos pós-consumo. A logística reversa é baseada em ações de melhorias que contribuem para o desenvolvimento de produtos com menor exigência de recursos e energia, níveis mais baixos de emissões e, portanto, menor impacto ambiental.

Nesse aspecto, a análise do Ciclo de Vida é uma ferramenta fundamental para auxiliar na gestão da empresa, pois amplia a visão do sistema de manufatura, permitindo a melhoria do desempenho ambiental do processo e do produto.

Vale ressaltar que a utilização da metodologia ACV foi de extrema importância para o desenvolvimento do trabalho, pois permitiu modelar e avaliar o sistema de produção de aparelhos de ar-condicionado de janela, acumulando dados quantitativos e qualitativos para a construção dos fluxos de entrada e saídas de matérias e emissões; e identificação e hierarquização dos aspectos ambientais e impactos potenciais envolvidos.

O trabalho pretendeu disponibilizar ao setor produtivo de aparelhos de ar-condicionado, dados referentes aos recursos utilizados, ao consumo de energia e as emissões de poluentes, caracterizando os impactos ambientais potenciais envolvidos em toda a cadeia produtiva, além de oferecer subsídios para auxiliar no planejamento estratégico e na melhoria do processo de tomadas de decisões, no desenvolvimento de produtos e de processos de produção de aparelhos de ar-condicionado de janela.

Não foi possível estabelecer uma comparação entre os dados e os resultados encontrados com outros trabalhos científicos, tendo em vista que, na busca pelo referencial teórico não se encontrou pesquisas sobre a Análise de Ciclo de Vida relacionada a aparelhos de ar-condicionado.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

Para a complementação e aprofundamento do estudo recomenda-se:

- A realização de um estudo de Análise do Ciclo de Vida para aparelhos de ar-condicionado de janela, com uma abordagem do berço ao túmulo, possibilitando uma avaliação mais completa, que compreenda todo o ciclo de vida do produto;
- O desenvolvimento de uma avaliação ambiental do processo produtivo de aparelhos de ar-condicionado, utilizando diferentes métodos de análise de categorias de impactos, com o intuito de comparar com os resultados já obtidos pelo método Eco-indicator 99;
- A realização de um estudo comparativo de ACV para avaliação ambiental do sistema de produção de condicionadores de ar, a partir da utilização de outra ferramenta computacional como o software GaBi; e
- A implementação de um sistema de logística reversa para os aparelhos de ar-condicionado de janela, que possibilitem a minimização dos impactos potenciais identificados nesse estudo.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 14021** Rótulos e declarações ambientais: Autodeclarações ambientais (Rotulagem ambiental do tipo II). Rio de Janeiro, 2004. 26 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 14024** Rótulos e declarações ambientais: Rotulagem ambiental do tipo I – Princípios e procedimentos. Rio de Janeiro, 2004. 13 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 14040** Gestão Ambiental - Avaliação do ciclo de vida: Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2009. 21 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 14044** Gestão Ambiental - Avaliação do ciclo de vida: Requisitos e orientações. Rio de Janeiro, 2009. 46 p.

ASSOCIAÇÃO SUL BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO, AR CONDICIONADO, AQUECIMENTO E VENTILAÇÃO. **Guia de Aquisição e Instalação de Condicionadores de Ar**. ASBRAV, 2012. Disponível em: <<http://www.asbrav.org.br>>. Acesso em: 01 maio 2012.

BARBIERI, J. C. **Gestão Ambiental Empresarial: conceitos, modelos e instrumentos**. São Paulo: Saraiva, 2004.

BARBIERI, J. C.; CAJAZEIRA, J. E. R. Avaliação do ciclo de vida do produto como instrumento de gestão da cadeia de suprimento: o caso do papel reciclado. *In: SIMPÓSIO DE ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO, LOGÍSTICA E OPERAÇÕES INTERNACIONAIS*, 12., 2009, São Paulo. **Anais...** São Paulo: FGV – EAESP, 2009.

BARBOZA, E. M. F. **Rotulagem Ambiental: Rótulos ambientais e Análise do Ciclo de Vida (ACV)**. Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia - IBICT, 2001. Disponível em: <<http://acv.ibict.br/publicacoes/realtorios/Rotulagem%20Ambiental.pdf>>. Acesso em: 12 abr. 2012.

BARBOSA JÚNIOR, A. F.; MORAIS, R. M.; EMERENCIANO, S. V.; PIMENTA, H. C. D.; GOUVINHAS, R. P. Conceitos e aplicações de Análise do Ciclo Vida (ACV) no Brasil. **Revista Gerenciais**, São Paulo, v. 7, n. 1, p. 39-44, 2008.

BERTOLINI, R. Especificações Técnicas de edifícios comerciais: Ar condicionado. **Revista Buildings**, Revista *online*, São Paulo, ANO 2, Edição 7, 3º Trimestre, p. 22-26, 2009. Disponível em: <http://www.revistabuildings.com.br/revista_buildings/ed07/>. Acesso em: 25 abr. 2012.

BIZZO, W. A. **Gestão de resíduos e gestão ambiental da indústria eletroeletrônica**. UNICAMP. São Paulo, 2007. Disponível em: <<http://www.tec.abinee.org.br/2007/arquivos/s702.pdf>>. Acesso em: 06 jun. 2013.

BORCHARDT, M.; SELITTO, M. A.; PEREIRA, G. M.; POLTOSI, L. A. C. Implementação do *ecodesign*: um estudo de caso na indústria eletrônica. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 27., 2007, Foz do Iguaçu. **Anais...** Paraná, 2007.

BORTOLIN, A. R. **Avaliação do Ciclo de Vida**: principais métodos e estudo comparativo entre o cesto de plástico e de inox de uma lavadora de roupa. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2009. 100p.

BREJÃO, A. S. **Possível impacto da logística reversa na melhoria da sustentabilidade**: um estudo de caso no setor eletroeletrônico. Dissertação (Mestrado em Tecnologia). Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza. São Paulo, 2012. 148p.

CARRIER BRASIL. **A história do ar-condicionado**. 2012. Disponível em: <www.springer.com.br>. Acesso em: 19 set. 2012.

CARVALHO, P. G. C. A. **Aplicação do Programa SimaPro na Avaliação do Impacto Ambiental causado na Produção e Exploração Offshore de Petróleo**. Monografia (Graduação em Engenharia Química). Escola de Química. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2008. 64 p. Disponível em: <www.eq.ufrj.br/prh13/download/?prh13-projeto-final-paula-aragao.pdf>. Acesso em: 04 maio 2013.

CAUCHICK MIGUEL, P. A. (Org.). **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

CHAVES, F. D. **Estudo experimental e desenvolvimento de um modelo de simulação de um refrigerador por absorção de pressão total única**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2009. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/1843/MDAD-7VYQBT/1/tese_de_fabiano_drumond_chaves_cpf_994219336_72.pdf>. Acesso em: 20 set. 2012.

CHEHEBE, J. R. **Análise do ciclo de vida de produtos**: ferramenta gerencial da ISO 14000. 1ª Reimpressão. Rio de Janeiro: Qualitymark, CNI, 2002.

ELECTROLUX. Disponível em: <<http://www.electrolux.com.br/>>. Acesso em: 22 ago. 2012.

_____. **Manual de Instruções**: Condicionadores de Ar Maximus EE07F, EE07R, EE10F e EE10R. Electrolux da Amazônia Ltda. 2011.

_____. **Manual de Instruções:** Condicionadores de Ar *split* Inverter Techno. Electrolux da Amazônia Ltda. 2011

ELECTROLUX DA AMAZÔNIA LTDA. **Documentos, Questionários e Entrevistas**, 2012.

FERRAZ, F.; GOMEZ, M. **Sistemas de ar condicionado**. Centro Federal de Educação Tecnológica da Bahia. Santo Amaro, 2008.

FERREIRA, J. V. R. **Análise de ciclo de vida dos produtos**. Instituto Politécnico de Viseu. Portugal, 2004. Disponível em: <<http://www.estv.ipv.pt/PaginasPessoais/jvf/Gest%C3%A3o%20Ambiental%20-%20An%C3%A1lise%20de%20Ciclo%20de%20Vida.pdf>>. Acesso em: 18 dez. 2012.

GAMA, A. G. C. O. **Análise ambiental e econômica da produção de tijolos, Caso de estudo:** Fábrica Cerâmica de Pegões, SA. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial), Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico. Lisboa, 2010. Disponível em: <[https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/787458/1/Dissertacao%20\(Final\)%20Upload.pdf](https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/787458/1/Dissertacao%20(Final)%20Upload.pdf)>. Acesso em: 05 maio 2013.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 1999.

GONÇALVES, L. P. **Condicionamento de ar e sua evolução tecnológica**. Monografia (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Anhembi Morumbi. São Paulo, 2005. Disponível em: <<http://engenharia.anhembi.br/tcc-05/civil-36.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2012.

HINZ, R. T. P.; VALENTINA, L. V. D.; FRANCO, A. C. Monitorando o desempenho ambiental das organizações através da Produção mais Limpa ou pela Avaliação do Ciclo de Vida. **Revista Produção online**, Florianópolis, v. 7, n. 3. ABEPRO/UFSC, Nov. 2007. Disponível em: <<http://producaoonline.org.br/rpo/article/view/66>>. Acesso em: 19 dez. 2012.

HONEYWELL. **Manual de Instruções de ar-condicionado portátil do modelo MD12HCES**. Air Tek International Corporation Limited. 2010.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 14025** Rótulos e declarações ambientais: Rotulagem ambiental do tipo III – Princípios e procedimentos. 2006. 25 p.

JUNG, C. F. **Metodologia para Pesquisa & Desenvolvimento aplicada a novas tecnologias, produtos e processos**. Rio de Janeiro: Axcel Books do Brasil, 2004.

LEMOS, H. M. **Avaliação do ciclo de vida, ecodesign e normas ISO 14000**. In: SEMINÁRIO DE AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA, FIESP, São Paulo, 2006. Disponível em: <http://www.fiesp.com.br/download/publicacoes_meio_ambiente/apres_haroldo_lemos.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2012.

LIMA, A. M. F. **Avaliação do Ciclo de Vida no Brasil: inserção e perspectivas**. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo), Universidade Federal da Bahia. Escola Politécnica. Salvador, 2007. 116p. Disponível em: <http://www.teclim.ufba.br/site/material_online/dissertacoes/dis_angela_lima.pdf>. Acesso em: 19 mar. 2012.

LIMA, D. S. **Avaliação do Ciclo de Vida dos tubos de PVC produzidos no Brasil**. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental), Universidade Estadual Paulista. Instituto de Geociências e Ciências exatas. Rio Claro, 2010. 63p. Disponível em: <http://xa.yimg.com/kq/groups/21934381/198407801/name/UNKNOWN_PARAMETER_VALUE>. Acesso em: 24 abr. 2013.

LOPES, M.; CASTANHEIRA, E.; FERREIRA, A. D. **Gestão ambiental e economia de recursos**. 1. ed. Porto: SPI, 2005. Disponível em: <http://www2.spi.pt/agroambiente/docs/Manual_VI.pdf>. Acesso em: 18 dez. 2012.

LOPEZ, E. **Componentes elétricos para eletrônica**. São Paulo: Fittipaldi, 1997.

MENEZES, M. S. **Refrigeração e ar condicionado**. Passo Fundo, 2005. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAABi9IAD/apostila-refrigeracao-ar-condicionado-pas-so-fundo>>. Acesso em: 01 maio 2012.

NORDIC COUNCIL OF MINISTERS. **Nordic Guidelines on Life-Cycle Assessment**. Copenhagen, 1995.

NOVAES, F. J. **Ciclo de vida do produto**. Polilab Consultoria. São Paulo, 2012. Altura: 896 pixels. Largura: 484 pixels. 176 Kb. Formato JPEG. Disponível em: <<http://polilab.com.br/images/acv.jpg>>. Acesso em: 06 nov. 2012.

OLIVEIRA, M. M. **Como fazer pesquisa qualitativa**. 3. ed. Petrópolis: Vozes, 2008.

OMETTO, A. R. **Avaliação do Ciclo de Vida**. In: SIMPÓSIO SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS, 1., 2009, São Paulo: Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 2009. Disponível em: <http://www.eesc.usp.br/shs/neper/isimposio/palestras/03122009tarde/ALDO_OMETTO-AvaliacaoDeCicloDeVida.pdf>. Acesso em: 04 jan. 2013.

PASSUELLO, A. C. B. **Aplicação da Avaliação do ciclo de vida em embalagens descartáveis para frutas:** estudo de caso. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental), Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2007. 148f. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/12690/000610693.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 20 mar. 2012.

PEDROSO, M. C. Casos Sustentáveis. **GVexecutivo**, v. 6, n. 2, março-abril, 2007. Disponível em: <www.rae.com.br/executivo>. Acesso em 14 set. 2012.

PEREIRA, D. **Ar condicionado**. Escola Técnica Estadual República. Departamento de Mecânica Industrial. Rio de Janeiro, [2007?]. Disponível em <http://www.portaldoeletrodomestico.com.br/cursos/Apostila_ar_condicionado.pdf>. Acesso em: 18 set. 2012.

PIRANI, M. J. **Refrigeração e Ar Condicionado**. Bahia, [2007?]. Disponível em: <<http://www.marioloureiro.net/ensino/manuaisOutros/refrigeracao/RefrigeracaoUnivBahia1.pdf>>. Acesso em: 9 set. 2012.

PRADO, M. R.; KASKANTZIS NETO, G. A análise do ciclo de vida como ferramenta de otimização de processos e gestão ambiental. **Revista Eletrônica Polidisciplinar Voos**. Núcleo de Estudos da Sociedade Contemporânea – NESC. n.1, p. 4-11, dezembro, 2005.

PRÉ CONSULTANTS. **SimaPro Database Manual: Methods library**. Holanda, 2011. Disponível em: <<http://www.pre-sustainability.com/download/manuals/DatabaseManualMethods.pdf>>. Acesso em: 01 maio 2013.

PRÉ CONSULTANTS. **SimaPro 7.3**. Versão Educacional *Faculty*. Holanda, 2006.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE. **Protocolo da ONU para redução de gases nocivos à camada de ozônio**. 2012. Disponível em: <http://www.pnuma.org.br/noticias_detalhar.php?id_noticias=1368>. Acesso em: 19 set. 2012.

RAPIN, P. (2001). **Manual do frio:** Fórmulas técnicas refrigeração e ar-condicionado. [s.l]: Hemus, 2001.

RIBEIRO, C. M.; ALMEIDA, C. M. V. B.; GIANNETI, B. F. Avaliação do Ciclo de Vida (ACV): Uma Ferramenta Importante da Ecologia Industrial. **Revista de Graduação da Engenharia Química**, 11, p. 13-23, 2003. Disponível em: <<http://www.hottopos.com/regeq12/art4.htm>>. Acesso em: 19 fev. 2012.

RIBEIRO, F. M. **Inventário de ciclo de vida da geração hidrelétrica no Brasil - Usina de Itaipu: primeira aproximação**. Dissertação (Mestrado em Energia), Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-23082004-123349/pt-br.php>>. Acesso em: 02 maio 2013.

ROBLES JUNIOR, A.; BONELLI, V. V. **Gestão da Qualidade e do Meio Ambiente: enfoque econômico, financeiro e patrimonial**. 1. ed. 5. Reimpr. São Paulo: Atlas, 2010.

RODRIGUES, A. C. **Impactos socioambientais dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos: estudo da cadeia pós-consumo no Brasil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Metodista de Piracicaba. Santa Bárbara D'Oeste, 2007. Acesso em: 06 jun. 2013. Disponível em: <<https://www.unimep.br/phpg/bibdig/pdfs/2006/KFTTMPPVCRXA.pdf>>.

SATO, M.; SANTOS, J. E. **Agenda 21 em sinopse**. Universidade Federal de São Carlos. Programa de Pós-graduação em Ecologia e Recursos Naturais. São Carlos, 1997. 41 p.

SANTIAGO, L. **O que é, histórico e uso da ACV**. 2012. Disponível em: <<http://www.acv.ibict.br/>>. Acesso em: 15 mar. 2012.

SANTOS, A. M. M. M.; SOUZA, A. J.; COSTA, C. S. Bens de consumo: linha branca. **BNDES Setorial**, n.2, dezembro, 1995. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set206.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2012.

SANTOS, A. P. L.; FERNANDES, D. S. Análise do impacto ambiental gerado no ciclo de vida de um tecido de malha. **Iberoamerican Journal of Industrial Engineering**, v. 4, n. 7, p. 1-17, 2012. Disponível em: <www.incubadora.ufsc.br/index.php/IJIE/article/download/1483/pdf>. Acesso em: 04 maio 2013.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 3. ed. Florianópolis: UFSC, Laboratório de Ensino à Distância, 2001.

SANTOS, J. G.; SILVA, S. S. F.; RAMALHO, A. M. C.; NOGUEIRA, V. B. M. Avaliação do ciclo de vida como instrumento de gestão ambiental: uma abordagem teórica. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 17., 2010, Bauru. **Anais...** São Paulo: UNESP, 2010.

SISTEMAS DE AR CONDICIONADO. **Ar-condicionado – Como funciona**, 2009. Disponível em: <<http://www.sistemasdearcondicionado.com.br/2009/07/ar-condicionado-como-funciona.html>>. Acesso em 17 set. 2012.

STOECKER, W. F.; JABARDO, J. M. S. **Refrigeração Industrial**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2002.

SUPERINTENDÊNCIA DA ZONA FRANCA DE MANAUS – SUFRAMA. **Indicadores de Desempenho da Superintendência do Polo Industrial de Manaus**. 2007 – 2012. Atualizado em 15 mar. 2012. Disponível em: <http://www.suframa.gov.br/download/indicadores/RelatorioIndicadoresDesempenho_Junho_03082012.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2012.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – EPA. **Terms & Acronyms**. 2013. Disponível em: <http://ofmpub.epa.gov/sor_internet/registry/termreg/searchandretrieve/termsandacronyms/search.do?matchCriteria=Contains&checkedTerm=on&checkedAcronym=on&search=Search&term=LCA>. Acesso em: 03 jan. 2013.

VASSALLO, F. R. **Enciclopedia del técnico em electrónica**: Componentes electrónicos. Barcelona: CEAC, 2004.

VENTURINI, O. J.; PIRANI, M. J. **Eficiência Energética em Sistemas de Refrigeração Industrial e Comercial**. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2005.

YOKOTE, A. Y. **Inventário do ciclo de vida da distribuição de energia elétrica no Brasil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003. 344p. Disponível em: <<http://www.ykrisk.com.br/doc/ICV.pdf> >. Acesso em: 02 maio 2012.

ZOLDAN, M. A. **Análise dos requisitos organizacionais para a avaliação do ciclo de vida (ACV) de produtos madeireiros**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2008. 127 fls. Disponível em: <<http://www.pg.utfpr.edu.br/dirppg/ppgep/dissertacoes/arquivos/78/Dissertacao.pdf>>. Acesso em: 11 abr. 2012.

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO 1: ESTRUTURA ORGANIZACIONAL DA EMPRESA



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO



QUESTIONÁRIO 1: ESTRUTURA ORGANIZACIONAL DA EMPRESA

Esse questionário tem por objetivo coletar dados referentes à identificação da estrutura organizacional da empresa pesquisada e sua atividade fim.

Orientações para responder o questionário:

- Em casos em que a opção de resposta for “Outro” ou “Outros”, por favor, especificar a resposta no espaço ao lado dessa alternativa.
- Em casos em que o espaço para resposta não for suficiente o respondente pode utilizar folhas avulsas e anexar a este questionário.
- As informações disponibilizadas neste questionário serão utilizadas exclusivamente para fins científicos e acadêmicos.

1. IDENTIFICAÇÃO DA EMPRESA

1.1. Ano: _____

1.2. Razão social: _____

1.3. Nome da Empresa: _____

1.4. Nome fantasia: _____

1.5. Ano de início das atividades da Empresa: _____

1.6. Função/Cargo do respondente: _____

2. SOBRE A ORGANIZAÇÃO DA EMPRESA

2.1. Localização da Empresa:

- () Zona urbana (próximo ao centro da cidade) () Zona Industrial
 () Zona urbana (na periferia da cidade) () Outros: _____
 () Zona rural (entre 1 km a 10 km da cidade)

2.2. Número de proprietários:

- () 1 () 2 () 3 () 4 () 5

2.3. Faixa etária do(s) proprietário(s):

- De 21 a 30 anos De 31 a 40 anos De 41 a 50 anos
 De 51 a 60 anos Acima de 60 anos

2.4. A empresa é gerenciada pelo(s) proprietário(s):

- Sim Não

2.5. Grau de instrução do(s) proprietário(s):

- Ensino fundamental Ensino médio Nível técnico
 Nível Superior Pós-graduação

2.6. Tipo de Empresa:

- Privada Estatal Terceiro Setor

2.7. Controle acionário majoritário:

- Brasileiro Estrangeiro

2.8. Qual o faturamento aproximado da sua Empresa no ano de 2011? _____

2.9. Qual o setor de atividade da Empresa?

- Infra-estrutura Indústria Primária Indústria Secundária
 Serviços Outros: _____

2.10. A Empresa tem serviços terceirizados?

- Sim Não

2.11. Em caso de resposta afirmativa, indique quais os serviços terceirizados utilizados pela Empresa? (Se necessário, marque mais de uma alternativa)

- Limpeza e conservação Coleta de resíduos Transporte de produtos
 Transporte de matéria-prima Alimentação Transporte de funcionários
 Manutenção elétrica Segurança Outros: _____
 Etapas do processo Manutenção mecânica

3. SOBRE O PRODUTO

3.1. Qual(is) o(s) produto(s) fabricados pela Empresa? _____

3.2. Qual o produto principal fabricado pela empresa? _____

3.3. Quais os principais subprodutos fabricados pela empresa? _____

3.4. Há quanto tempo a Empresa atua no setor de aparelhos de ar-condicionado?

- De 1a 5 anos De 6 a 15 anos De 16 a 25 anos
 De 26 a 35 anos Acima de 35 anos

3.5. Quantos aparelhos de ar-condicionado foram produzidos pela Empresa em 2011? _____

3.6. Quantos aparelhos de ar-condicionado foram vendidos pela Empresa em 2011? _____

3.7. Quantos e quais são os modelos de aparelhos de ar-condicionado produzidos pela Empresa? _____

3.8. Quais os elementos/peças que compõe o aparelho de ar-condicionado? _____

3.9. Quais as características físicas dos elementos/peças principais dos aparelhos de ar-condicionado produzidos pela Empresa? _____

3.10. Quais as características químicas dos elementos/peças principais dos aparelhos de ar-condicionado produzidos pela Empresa? _____

3.11. Qual(is) o(s) refrigerante(s) – fluido de trabalho – utilizados nos aparelhos de ar-condicionado produzidos pela Empresa? _____

3.12. Quais os principais atributos dos produtos da Empresa? Enumerar, por ordem de importância, os três principais.

- | | | |
|--|--|---|
| <input type="checkbox"/> Preço | <input type="checkbox"/> Tradição | <input type="checkbox"/> Marca |
| <input type="checkbox"/> Qualidade | <input type="checkbox"/> Conforto | <input type="checkbox"/> Prazo de entrega |
| <input type="checkbox"/> <i>Design</i> | <input type="checkbox"/> Prazo de garantia | <input type="checkbox"/> Outros: _____ |

3.13. Quais são as principais formas utilizadas pela empresa para diferenciar seus produtos? Enumerar, por ordem de importância, os três principais.

- | | | |
|--|--|--|
| <input type="checkbox"/> Inovação | <input type="checkbox"/> Publicidade | <input type="checkbox"/> Preço |
| <input type="checkbox"/> <i>Design</i> | <input type="checkbox"/> Rapidez na entrega | <input type="checkbox"/> Informações ao consumidor |
| <input type="checkbox"/> Qualidade | <input type="checkbox"/> Qualidade ambiental | <input type="checkbox"/> Outros: _____ |

4. SOBRE A GESTÃO AMBIENTAL

4.1. A Empresa tem um plano de gestão ambiental?

- Sim Não

4.2. Em caso de resposta afirmativa, quais os benefícios trazidos pela implementação da gestão ambiental na Empresa? _____

4.3. Existe um setor específico, responsável pela gestão ambiental da Empresa?

Sim Não

4.4. Em caso de resposta negativa, os aspectos relacionados à gestão ambiental são tratados em outro setor?

Sim Não

4.5. Em caso de resposta afirmativa, indique o setor. _____

4.6. A Empresa utiliza, no seu cotidiano, ferramentas de gestão ambiental?

Sim Não

4.7. Em caso de resposta afirmativa, indique qual(is) ferramenta(s) de gestão ambiental a Empresa utiliza?

SGA Ecoeficiência Outros: _____
 ACV Rotulagem ambiental

4.8. A Empresa possui certificação de qualidade ambiental?

Sim Não

4.9. Em caso de resposta afirmativa, especificar qual(is).

4.10. A Empresa aplica a logística reversa, visando recuperar os aparelhos de ar-condicionado após o consumo?

Sim Não

4.11. Em caso de resposta afirmativa, descreva esse processo.

4.12. A Empresa possui uma estratégia de reuso e reciclagem dos elementos básicos e componentes dos aparelhos de ar-condicionado devolvidos ou recuperados após o consumo?

Sim Não

4.13. Quais os principais resíduos sólidos industriais do processo produtivo dos aparelhos de ar-condicionado? _____

4.14. Como são tratados os resíduos sólidos do processo produtivo dos aparelhos de ar-condicionado? _____

4.15. Quais os principais efluentes industriais do processo produtivo dos aparelhos de ar-condicionado? _____

4.16. Como são tratados os efluentes líquidos do processo produtivo dos aparelhos de ar-condicionado? _____

4.17. Como é realizada a disposição final dos resíduos sólidos do processo produtivo dos aparelhos de ar-condicionado? _____

4.18. Quais os impactos ambientais associados ao processo produtivo de aparelhos de ar-condicionado? _____

4.19. A Empresa desenvolve atividades visando eliminar ou minimizar os impactos ambientais gerados no processo produtivo de aparelhos de ar-condicionado?

Sim Não

4.20. Em caso de resposta afirmativa, listar as atividades que visam eliminar ou minimizar os impactos ambientais gerados no processo produtivo de aparelhos de ar-condicionado.

4.21. No processo produtivo de aparelhos de ar-condicionado ocorre geração de resíduos sólidos ou líquidos que prejudiquem a saúde humana ou o meio ambiente?

Sim Não

4.22. A Empresa possui resíduos classificados em:

Classe 1 (perigosos ao meio ambiente) Classe 2 (pouco perigosos)
 Classe 1 (perigosos ao meio ambiente) Outros: _____

4.23. Descrever cada um desses resíduos.

4.24. Na Empresa, existe um programa de racionalização de consumo de materiais, água ou energia em seus processos?

Sim Não

4.25. Em caso de resposta afirmativa, explique como foi implantado e quais os setores beneficiados?

5. SOBRE O CONTROLE DE QUALIDADE

5.1. A empresa utiliza inspeções e testes de controle de qualidade?

Sim Não

5.2. Como são feitas estas inspeções e testes? _____

5.3. Qual o número de aparelhos de ar-condicionado devolvidos para a empresa, dentro do prazo de garantia, no ano de 2011? _____

5.4. Quais os motivos das devoluções?

Defeitos na matéria-prima Fora das especificações do pedido
 Defeitos relacionados à produção Outros: _____

5.5. Existe na Empresa um setor específico para a recepção e análise dos aparelhos de ar-condicionado devolvidos?

Sim Não

5.6. Em caso de resposta afirmativa, descreva o procedimento adotado por este setor, com relação a esses aparelhos.

6. SOBRE AS INOVAÇÕES

6.1. Quais as fontes de informação mais importantes, utilizadas pela Empresa, para a inovação do produto e do processo produtivo dos aparelhos ar-condicionado? (Se necessário, marque mais de uma alternativa)

Departamento de P&D da Empresa Feira e exposições nacionais ou internacionais
 Departamento de P&D externo à Empresa Fornecedores de matéria-prima e máquinas
 Outras empresas do setor Empresas de consultoria
 Institutos de pesquisa () Outros:

Universidades

6.2. Nos últimos cinco anos quais foram as principais inovações adotadas pela empresa em seus produtos e/ou processo produtivo? (Se necessário, marque mais de uma alternativa)

Inovações no produto:

- Desenvolvimento de *design* Alteração de embalagem;
 Criação de novos estilos Outros: _____
 Utilização de novas matérias-primas

Inovações no processo produtivo:

- Nova configuração da planta industrial Introdução do CAD
 Construção de uma nova planta industrial Introdução do CAD integrado ao CAM
 Introdução de novas técnicas organizacionais: *Just in time*, Células de produção, etc Outros: _____
 Incorporação de novos equipamentos na planta industrial

6.3. Quais os principais resultados das inovações introduzidas nos últimos cinco anos? Enumerar por ordem de importância os três principais.

- Aumento da produtividade Abertura de novos mercados
 Aumento da pauta de produtos Redução de custos do trabalho e insumos
 Aumento da qualidade dos produtos Outros: _____
 Aumento da participação no mercado

7. SOBRE O MERCADO

7.1. A qual mercado se destina o produto principal?

- Mercado Local Mercado Nacional Mercado Internacional

7.2. Como é caracterizado o mercado brasileiro de aparelhos de ar-condicionado?

- Pela produção Pelo consumo

7.3. Em relação aos anos de 2011 e 2012, como é a situação do mercado do produto? _____

7.4. Quais os fatores determinantes para manter e/ou aumentar a competitividade e a participação da Empresa no mercado? Enumerar, por ordem de importância, os três principais.

- Custo dos insumos principais Sofisticação tecnológica
 Inovação no *design* e estilo dos produtos Estratégia de comercialização

- Inovação do processo produtivo Publicidade
 Qualidade do produto Capacidade de atendimento (volume e prazo)
 Preço Outros: _____

8. SOBRE A MÃO-DE-OBRA

8.1. Indique o número de funcionários da sua empresa:

- 0 a 10 11 a 100 101 a 500 501 a 1000 acima de 1000

8.2. A disponibilidade de mão de obra para o setor na região é:

- Excelente Ótima Boa Regular Ruim

8.3. A qualidade da mão de obra disponível é:

- Excelente Ótima Boa Regular Ruim

8.4. A empresa realiza atividades de treinamento e capacitação de seus funcionários?

- Sim Não

8.5. A empresa utiliza serviços de mão de obra terceirizada na fabricação de aparelhos de ar-condicionado?

- Sim Não

8.6. Em caso de resposta afirmativa, especificar qual a mão de obra e em que fase(s) da produção ela é empregada.

8.7. Quais os motivos para a terceirização da mão de obra?

- Menor custo do trabalho Falta de espaço físico Resolver gargalos da produção
 Falta de mão de obra Falta de qualificação Outros: _____

8.8. A disponibilidade de mão de obra terceirizada para o setor na região é:

- Excelente Ótima Boa Regular Ruim

8.9. A qualidade da mão de obra terceirizada disponível é:

() Excelente () Ótima () Boa () Regular () Ruim

Questionário de pesquisa – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção/PPGEP – Ago/2012

Pesquisador: Daisy Amed C. de Freitas (daisychamed@gmail.com.br)

APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO 2: PROCESSO PRODUTIVO



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO



Programa de Pós-Graduação
em Engenharia de Produção
UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS - UFAM

QUESTIONÁRIO 2: PROCESSO PRODUTIVO

Esse questionário tem por objetivo coletar dados referentes ao processo produtivo de aparelhos de ar-condicionado da Empresa pesquisada.

Orientações para responder o questionário:

- Em casos em que a opção de resposta for “Outro” ou “Outros”, por favor, especificar a resposta no espaço ao lado dessa alternativa.
- Em casos em que o espaço para resposta não for suficiente o respondente pode utilizar folhas avulsas e anexar a este questionário.
- As informações disponibilizadas neste questionário serão utilizadas exclusivamente para fins científicos e acadêmicos.

1. IDENTIFICAÇÃO DA EMPRESA

1.1. Ano: _____

1.2. Empresa: _____

1.3. Função/Cargo do respondente: _____

2. PROCESSO PRODUTIVO

2.1. Quais as principais linhas de produção da Empresa? _____

2.2. A Empresa tem um fluxograma geral do processo produtivo, contendo as entradas e saídas envolvidas na manufatura dos aparelhos de ar-condicionado?

Sim Não

2.3. Em caso de resposta afirmativa, por favor, anexar o fluxograma e este questionário.

2.4. Qual é a unidade funcional do sistema produtivo? _____

2.5. Qual a Capacidade de produção de aparelhos de ar-condicionado da Empresa? _____

2.6. A Empresa opera com sua capacidade máxima de manufatura de aparelhos de ar-condicionado?

Sim Não

2.7. Em caso de resposta negativa, indique qual a produção/dia de aparelhos de ar-condicionado. _____

2.8. Quantos aparelhos de ar-condicionado foram produzidos pela Empresa em 2011? _____

2.9. Quantos aparelhos de ar-condicionado foram vendidos pela Empresa em 2011? _____

2.10. A Empresa tem fluxogramas técnicos da cadeia produtiva de aparelhos de ar-condicionado?

Sim Não

2.11. Em caso de resposta afirmativa, por favor, anexar o fluxograma e este questionário.

2.12. Qual é a faixa de produtos para as diversas unidades produtivas? _____

2.13. Qual é a capacidade produtiva anual de cada unidade produtiva relevante? _____

2.14. Existem tabelas de insumo-consumo detalhadas para as principais unidades produtivas?

Sim Não

2.15. Em caso de resposta afirmativa, anexar a este questionário, as tabelas de insumo-consumo detalhadas para as principais unidades produtivas.

2.16. Em caso de resposta negativa para a questão 2.12., existe(m) tabela(s) de insumo-consumo detalhadas para o setor como um todo?

Sim Não

2.17. Em caso de resposta afirmativa, anexar a este questionário, as tabelas de insumo-consumo detalhadas para o setor como um todo.

2.18. Em caso de resposta negativa, existe(m) tabela(s) de insumo-consumo detalhada para o setor como um todo?

2.19. Qual é o consumo médio energético (eletricidade, vapor, energia térmica, etc) para cada unidade produtiva na manufatura dos aparelhos de ar-condicionado? _____

2.20. Como é suprida internamente esta demanda de energia? _____

2.21. Que tipo de combustível é usado para geração de energia térmica? _____

2.22. Qual é o consumo médio de água para cada unidade produtiva na manufatura dos aparelhos de ar-condicionado? _____

2.23. Como é suprida internamente esta demanda de energia? _____

2.24. A empresa utiliza o sistema CAD (Projeto Assistido por Computador) no processo produtivo de aparelhos de ar-condicionado?

Sim Não

2.25. Em caso de resposta afirmativa, em quais fases o sistema CAD é utilizado? _____

2.26. A empresa utiliza o CAD integrado ao CAM (Manufatura Assistida por Computador) na produção de aparelhos de ar-condicionado?

Sim Não

2.27. Em caso de resposta afirmativa, em quais fases o sistema CAD/CAM é utilizado? _____

3.7. Qual é a capacidade anual das unidades produtivas de matéria-prima?

3.8. Existem tabelas de insumo-consumo (incluindo emissões) detalhadas para as principais unidades produtivas?

Sim Não

3.9. Qual é a demanda energética para as unidades produtivas de matéria-prima (eletricidade, vapor, energia térmica, etc.)? _____

3.10. Como é suprida internamente esta demanda de energia? _____

4. SOBRE A TECNOLOGIA EMPREGADA NA PRODUÇÃO

4.1. A empresa utiliza alguma tecnologia de gestão da produção?

Sim Não

4.2. Em caso de resposta alternativa, indique qual(is) é(são) esta(s) técnica(s)?

Controle de Qualidade Total Células de produção "5S"

Just in Time Mini-fábrica Outros: _____

Kanban

5.7. Do transporte dentro da empresa são gerados resíduos?

Sim Não

5.8. Quais os tipos de transporte utilizados na armazenagem de matérias-primas e produtos, na manufatura de aparelhos de ar-condicionado?

Carregadeira Carreta de pequeno porte
 Caminhões Empilhadeira
 Esteira transportadora Outros: _____

5.9. Qual o consumo médio de combustível no transporte e armazenagem de matérias-primas e produtos, na manufatura de aparelhos de ar-condicionado? _____

Questionário de pesquisa – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção/PPGEP – Ago/2012

Pesquisador: Daisy Amed C. de Freitas (daisychamed@gmail.com.br)

APÊNDICE C – FORMULÁRIOS PARA FLUXOS DE SAÍDA



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO



Programa de Pós-Graduação
em Engenharia de Produção
UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS - UFAM

Folha de coleta de dados para análise de inventário do ciclo de vida Formulários para Fluxos de Saída

Empresa:			
Data:			
Produto:			
Atividade:			
Função/cargo do respondente:			
Identificação do processo elementar:			Local de origem dos dados:
Emissões atmosféricas ¹	Unidade	Quantidade	Descrição dos procedimentos de amostragem (anexar folhas adicionais, se necessário)
Liberações para a água ²	Unidade	Quantidade	Descrição dos procedimentos de amostragem (anexar folhas adicionais, se necessário)
Liberações para o solo ³	Unidade	Quantidade	Descrição dos procedimentos de amostragem (anexar folhas adicionais, se necessário)
Outras liberações ⁴	Unidade	Quantidade	Descrição dos procedimentos de amostragem (anexar folhas adicionais, se necessário)

Descrever quaisquer cálculos específicos, coleta de dados, amostragem ou variação da descrição das funções do processo elementar (anexar folhas adicionais, se necessário)
¹ Por exemplo: inorgânicos: Cl ₂ , CO, CO ₂ , poeira/particulado, F ₂ , H ₂ S, H ₂ SO ₄ , HCl, HF, NO ₂ , NH ₃ , NO _x , SO _x ; orgânicos: hidrocarbonetos, PCB, dioxinas, fenóis; metais: Hg, Pb, Cr, Fe, Zn, Ni.
² Por exemplo: DBO, DQO, ácidos, Cl ₂ , CN ₂ ⁻ , detergentes/óleos, compostos orgânicos dissolvidos, F ⁻ , íons de Fe, íons de Hg, hidrocarbonetos, Na ⁺ , NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻ , organoclorados, outros metais, outros compostos de nitrogênio, fenóis, fosfatos, SO ₄ ⁻² , sólidos em suspensão.
³ Por exemplo: resíduos minerais, resíduo industrial misto, resíduos sólidos urbanos, resíduos tóxicos (por favor listar os compostos incluídos nesta categoria de dados).
⁴ Por exemplo: ruído, radiação, vibração, odor, calor perdido.

Questionário de pesquisa – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção/PPGEP – Ago/2012
 Pesquisador: Daisy Amed C. de Freitas (daisychamed@gmail.com.br)

APÊNDICE D – FORMULÁRIOS PARA FLUXOS DE ENTRADA



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO



Programa de Pós-Graduação
 em Engenharia de Produção
 UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS - UFAM

Folha de coleta de dados para análise de inventário do ciclo de vida Formulários para Fluxos de Entrada

Empresa:				
Data:				
Produto:				
Atividade:				
Função/cargo do respondente:				
Identificação do processo elementar:			Local de origem dos dados:	
Período de tempo:	Início:	Término:		
Descrição do processo elementar (anexar folhas adicionais, se necessário)				
Entradas de material	Unidade	Quantidade	Descrição dos procedimentos de amostragem	Origem
Consumo de água¹	Unidade	Quantidade	Descrição dos procedimentos de amostragem	Origem
Entradas de energia²	Unidade	Quantidade	Descrição dos procedimentos de amostragem	Origem
Saídas de material (incluindo produtos)	Unidade	Quantidade	Descrição dos procedimentos de amostragem	Destino

NOTA: Os dados desta folha referem-se a todas as entradas e saídas coletadas durante o período de tempo especificado, antes de possíveis alocações.

¹ Por exemplo: água superficial, água potável.

² Por exemplo: óleo combustível pesado, óleo combustível médio, óleo combustível leve, querosene, gasolina, gás natural, propano, carvão, biomassa, eletricidade da rede.

Questionário de pesquisa – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção/PPGEP – Ago/2012
 Pesquisador: Daisy Amed C. de Freitas (daisychamed@gmail.com.br)

APÊNDICE E – FORMULÁRIOS PARA TRANSPORTE



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
 FACULDADE DE TECNOLOGIA
 PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
 PRODUÇÃO



Programa de Pós-Graduação
 em Engenharia de Produção
 UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS - UFAM

Folha de coleta de dados para análise de inventário do ciclo de vida Formulários para Transporte

Empresa:				
Data:				
Produto:				
Atividade:				
Função/cargo do respondente:				
Identificação do processo elementar:			Local de origem dos dados:	
Período de tempo:	Início:	Término:		
Identificação do produto intermediário	Tipo de transporte (rodoviário, aquático, ferroviário, aéreo):			
	Distância (Km)	Capacidade e do caminhão (toneladas)	Carga real (toneladas)	Retorno vazio (Sim/Não)

Formulários para Transporte Interno

Empresa:
Data:
Produto:
Atividade:

Função/cargo do respondente:		
Identificação do processo elementar:		Local de origem dos dados:
Período de tempo:	Início:	Término:
	Quantidade total de entrada transportada	Consumo total de combustível
Óleo diesel		
Gasolina		
GLP *		
* Gás Liquefeito de Petróleo		

Questionário de pesquisa – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção/PPGEP – Ago/2012
 Pesquisador: Daisy Amed C. de Freitas (daisychamed@gmail.com.br)