

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO  
DOUTORADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**LEILA MENDES DA LUZ**

**INTEGRAÇÃO DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA AO PROCESSO  
DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO: UMA PROPOSTA  
METODOLÓGICA**

**TESE**

**PONTA GROSSA**

**2017**

**LEILA MENDES DA LUZ**

**INTEGRAÇÃO DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA AO PROCESSO  
DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO: UMA PROPOSTA  
METODOLÓGICA**

Tese apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Engenharia de Produção, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos de Francisco

**PONTA GROSSA**

**2017**

Ficha catalográfica elaborada pelo Departamento de Biblioteca  
da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ponta Grossa  
n.47/17

L979 Luz, Leila Mendes da

Integração da avaliação do ciclo de vida ao processo de desenvolvimento de produto: uma proposta metodológica. / Leila Mendes da Luz. 2017.

147 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos de Francisco

Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2017.

1. Ciclo de vida do produto. 2. Produtos novos. 3. Engenharia de produção. I. Francisco, Antonio Carlos de. II. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. III. Título.

CDD 670.42



Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campus Ponta Grossa  
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**



**FOLHA DE APROVAÇÃO**

Título da Tese Nº **9/2017**

**INTEGRAÇÃO DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA AO PROCESSO DE  
DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO: UMA PROPOSTA METODOLÓGICA**

por

**Leila Mendes da Luz**

Esta tese foi apresentada às **9 horas de 31 de julho de 2017** como requisito parcial para a obtenção do título de DOUTOR(A) EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, com área de concentração em Gestão Industrial, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. O(a) candidato(a) foi arguido(a) pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Ricardo Antonio Ayub (UEPG)

Prof. Dr. Cassiano Moro Piekarski (UTFPR)

Prof. Dr. Luiz Antonio Brandalise (UEPG)

Prof. Dr. João Luiz Kovaleski (UTFPR)

Prof. Dr. Antonio Carlos de Francisco  
(UTFPR)  
Orientador

Prof. Dr. Antonio Carlos de Francisco (UTFPR)

**Coordenador do PPGE**

A FOLHA DE APROVAÇÃO ASSINADA ENCONTRA-SE NO DEPARTAMENTO DE  
REGISTROS ACADÊMICOS DA UTFPR –CÂMPUS PONTA GROSSA

Dedico este trabalho à minha família.

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de deixar meus sinceros agradecimentos a todos que auxiliaram direta ou indiretamente na execução deste trabalho, em especial:

A Deus, por me conceder o dom da vida e força nesta caminhada.

A minha família, que sempre me apoiou e incentivou.

Ao meu orientador professor Antonio Carlos de Francisco pelo apoio e orientação no decorrer desta pesquisa.

Ao professor Cassiano Moro Piekarski pela ajuda prestada no decorrer desta pesquisa.

Aos professores do programa de pós-graduação em engenharia de produção (PPGEP) pelo conhecimento compartilhado.

A todos os amigos do PPGEP.

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

A Secretaria do Curso.

A Capes pelo apoio financeiro concedido à elaboração da pesquisa.

A todos que auxiliaram direta ou indiretamente na execução deste trabalho.

A tragédia da vida é que ficamos velhos  
cedo demais. E sábios, tarde demais.  
(Benjamim Franklin)

## RESUMO

LUZ, Leila Mendes da. **Integração da avaliação do ciclo de vida ao processo de desenvolvimento de produto**: uma proposta metodológica. 2017. 147. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2017.

O desenvolvimento de produtos é apontado na literatura e meio empresarial como uma questão desafiadora. Além disso, no atual cenário em que as empresas estão inseridas, discussões sobre o desenvolvimento sustentável é cada vez mais presente e essencial. Neste sentido, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma ferramenta importante para ajudar a garantir a sustentabilidade adequada por meio da avaliação dos impactos ambientais no desenvolvimento de produtos. Este trabalho tem como objetivo propor uma metodologia para integração da ACV ao processo de desenvolvimento de produto. Para isso, este estudo foi realizado em três fases. Na primeira fase, foi realizado o desenvolvimento teórico dos temas. Na segunda fase, foi realizada uma revisão sistemática da literatura, onde foi possível analisar o estado da arte sobre a consideração da ACV no processo de desenvolvimento de produto (PDP). E, na terceira fase, a estruturação da metodologia para integração da ACV ao PDP foi desenvolvida. A metodologia proposta, foi elaborada com base na ACV e nas fases do processo de desenvolvimento apresentado pela ISO/TR 14062. O objetivo de considerar a ACV no PDP é auxiliar na identificação de potenciais de melhoria ambiental e na definição de metas ambientais, além de, possibilitar o desenvolvimento de novas estratégias para o produto. Deste modo, a metodologia proposta para integração da ACV no PDP é realizada em três macro fases: Pré-integração, Integração e Pós-integração. Essas macro fases são constituídas por quatro fases: escolha do produto de referência, ACV do produto de referência, integração da ACV no PDP e análise da integração da ACV no PDP. Sendo que cada fase apresenta atividades específicas a serem realizadas. Na fase de integração da ACV no PDP são apresentadas ações para integração em cada fase do PDP e a análise dos resultados da integração é realizada por meio de uma matriz de avaliação que considera as categorias de impacto e as fases do ciclo de vida do produto. A estrutura da metodologia proposta é apresentada de modo genérico e flexível o que possibilita sua aplicação em diferentes processos, podendo ser adaptada as características e necessidades das organizações. Desta forma, a metodologia desenvolvida, poderá auxiliar as empresas no processo de desenvolvimento de produtos mais sustentáveis aumentando o nível de competitividade da organização e auxiliando as empresas a identificarem novas oportunidades para os produtos desenvolvidos.

**Palavras-chave:** Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Desenvolvimento de Produto. Integração. Metodologia.



## ABSTRACT

LUZ, Leila Mendes da. **Integrating life cycle assessment into the product development process:** a methodological proposal. 2017. 147 p. Thesis (Doctoral in Engenharia de Produção) - Federal Technology University - Paraná. Ponta Grossa, ano de defesa.

Product development is touted as a challenging issue in academia and industry. In addition, in the current scenario in which companies are inserted, discussions on sustainable development are increasingly present and essential. In this sense, Life Cycle Assessment (LCA) is an important tool to help ensure adequate sustainability by assessing environmental impacts in product development. Therefore, this work aims to propose a methodology for the integration of LCA to the process of product development in the industry. For this, this study was carried out in three phases. In the first phase, the theoretical development of the themes was carried out. In the second phase, a systematic review of the literature was carried out, where it was possible to analyze the art study about the consideration of LCA in the product development process (PDP). And, in the third phase, the structuring of the methodology for integrating LCA into the PDP was developed. The proposed methodology was developed based on the LCA and in the stages of the development process presented by ISO / TR 14062. The objective of considering LCA in the PDP is to help identify environmental improvement potentials and to set environmental goals, besides, to enable the development of new strategies for the product. Thus, the suggested methodology for integrating the LCA into the PDP is carried out in three macro phases: Pre-integration, Integration and Post-integration. These macro phases consist of four phases: choice of the reference product, ACV of the reference product, integration of the ACV in the PDP and analysis of the integration of the ACV in the PDP. Each phase has specific activities to be carried out. In the integration phase of the LCA in the PDP, actions are presented for integration in each phase of the PDP and the analysis of the results of the integration is performed through an evaluation matrix that considers the impact categories and the phases of the product life cycle. The structure of the proposed methodology is presented in a generic and flexible way. This allows its application in different processes, and the characteristics and needs of the organizations can be adapted. In this way, the methodology developed will help companies in the process of developing more sustainable products by increasing the level of competitiveness of the organization and helping companies to identify new opportunities for the products developed.

**Keywords:** Life Cycle Assessment (LCA). Product development. Integration. Methodology.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma dos passos para a condução da tese.....	17
Figura 2 - Fases da ACV.....	20
Figura 3 - Fluxos de informação necessária para um inventário de ciclo de vida .....	25
Figura 4 - Procedimentos para análise de inventário .....	25
Figura 5 - Subdivisão do processo para alocação.....	28
Figura 6 - Elementos da fase de AICV .....	32
Figura 7 - Categorias de impacto a nível midpoint e endpoint.....	33
Figura 8 - Indicadores de pontos médios e pontos finais .....	41
Figura 9 - Relação entre parâmetros de ICV, indicador de ponto médio e indicador de ponto final no método ReCiPe 2008.....	45
Figura 10 - Visão geral das categorias de impacto cobertas pelo método ReCiPe2016 e sua relação com as áreas de proteção .....	46
Figura 11 - Relacionamento dos elementos da fase de interpretação com as outras fases da ACV .....	48
Figura 12 - Abordagens para o desenvolvimento de produto.....	53
Figura 13 - Funil de desenvolvimento de produtos.....	55
Figura 14 - Modelo unificado.....	56
Figura 15 - Hierarquia da integração de aspectos ambientais no PDP .....	63
Figura 16 - O processo de ecodesign em relação ao ciclo de vida .....	64
Figura 17 - Mapa mental para ecodesign .....	67
Figura 18 - Comparação de DfS e DfE.....	70
Figura 19 - Exemplo de um modelo genérico de integração de aspectos ambientais no projeto do produto e no processo de desenvolvimento .....	71
Figura 20 - Ferramentas para integração de aspectos ambientais no desenvolvimento de produto .....	73
Figura 21 - Entradas e saídas e exemplos de impactos ambientais associados ao ciclo de vida de um produto.....	79
Figura 22 - Artigos publicados sobre o tema ACV e DP no período de 2012 a 2016* .....	80
Figura 23 - Principais finalidades da aplicação da ACV no PDP .....	84
Figura 24 - Correlação das fases de PDP com a ISO/TR 14062 .....	88
Figura 25 - Finalidade da aplicação da ACV em cada fase do PDP .....	89
Figura 26 - ACV como ferramenta preditiva no desenvolvimento de novos produtos .....	91
Figura 27 - Esquema das fases da pesquisa .....	92
Figura 28 - Visão geral do processo de seleção dos artigos .....	94
Figura 29 - Correlação da ISO/TR 14062 com outros modelos de PDP .....	96
Figura 30 - Fases do PDP adotadas para integração da ACV .....	96
Figura 31 - Categorias de impacto consideradas .....	97
Figura 32 - Pontuação escala de respostas matriz de avaliação .....	99

Figura 33 - Abordagem metodológica para integração da ACV no PDP .....	101
Figura 34 - Pré-integração da ACV no desenvolvimento de produto .....	102
Figura 35 - Exemplo genérico de um sistema .....	103
Figura 36 - Resumo das atividades a serem realizadas na ACV .....	104
Figura 37 - Integração da ACV no CVP e PDP .....	106
Figura 38 - Exemplo de hotspots relacionados ao ciclo de vida do produto.....	107
Figura 39 - Correlação genérica da ACV, CVP e PDP .....	108
Figura 40 - Integração da ACV no PDP.....	110
Figura 41 - Análise SWOT com base na ACV e CVP.....	111
Figura 42 - Exemplo de mapa mental para identificar possíveis soluções para o produto .....	112
Figura 43 - Pós-Integração da ACV no PDP .....	115

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tipos de ACV .....	24
Quadro 2 - Classificação de dados do ICV nas categorias de impacto .....	34
Quadro 3 - Abordagens e métodos para AICV .....	42
Quadro 4 - Principais categorias de impactos e modelos de caracterização para ACV .....	43
Quadro 5 - Tarefas do processo de ecodesign .....	65
Quadro 6 - Diretrizes para ecodesign.....	68
Quadro 7 - Fatores externos e internos para formulação de requisitos do produto...72	
Quadro 8 - Abordagens de projeto visando objetivos ambientais estratégicos .....	75
Quadro 9 - Finalidade da aplicação da ACV no PDP .....	80
Quadro 10 - Modelos de PDP e abordagens da ACV empregados na aplicação da ACV no PDP.....	85
Quadro 11 - Métodos e ferramentas utilizados para aplicação da ACV no PDP .....	90
Quadro 12 - Combinação de palavras chaves utilizadas na busca .....	93
Quadro 13 - Critérios considerados na análise sistêmica.....	95
Quadro 14 - Modelo da matriz de avaliação da integração da ACV ao PDP.....	98
Quadro 15 - Matrix genérica de correlação da ACV com PDP .....	109
Quadro 16 - Exemplo de Matriz de avaliação elaborada de acordo com o método Recipe 2016 .....	116
Quadro 17 - Exemplo de protocolo de avaliação.....	117
Quadro 18 - Matriz de avaliação da integração da ACV ao PDP .....	118

## LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
ACV-A	Avaliação do Ciclo de Vida Atribucional
ACV-C	Avaliação do Ciclo de Vida Consequencial
ACVs	Avaliação do Ciclo de Vida Simplificada
AHP	Análise Hierárquica de Processos
AICV	Avaliação de Inventário de Ciclo de Vida
ANP	Processo de Rede Analítica
CI	Categoria de Impacto
CVP	Ciclo de Vida do Produto
DfE	<i>Design for Environment</i>
DfEM	Design for Energy Minimization
DfS	<i>Design for Sustainability</i>
ICV	Inventário de Ciclo de Vida
JCR	Joint Research Center
LCA	Life Cycle Assessment
LCC	Life Cycle Costing
PDP	Processo de Desenvolvimento de Produto
PE	Processo Elementar
QFD	Desdobramento da Função Qualidade
S-LCA	Social Life Cycle Assessment
TR	Relatório Técnico

## **LISTA DE ACRÔMIOS**

EPA	United States Environmental Protection Agency
IBICT	Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia
ILCD	International Reference Life Cycle Data System
ISO	International Organization for Standardization
PBACV	Programa Brasileiro em Avaliação do Ciclo de Vida
SETAC	Society of Environmental Toxicology and Chemistry
SICV	Banco Nacional de Inventários do Ciclo de Vida
UNEP	United Nations Environment Programme

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
1.1 OBJETIVOS DA TESE.....	14
1.1.1 Objetivo Geral.....	14
1.1.2 Objetivos Específicos.....	14
1.2 JUSTIFICATIVA.....	15
1.3 ORGANIZAÇÃO DA TESE.....	17
<b>2 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA.....</b>	<b>18</b>
2.1 METODOLOGIA DA ACV.....	19
2.1.1 Definição de Objetivo e Escopo.....	21
2.1.2 Análise de Inventário do Ciclo de Vida (ICV).....	24
2.1.2.1 Ferramentas para avaliação do ciclo de vida.....	29
2.1.3 Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV).....	31
2.1.3.1 Métodos para AICV.....	40
2.1.4 Interpretação.....	47
<b>3 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO.....</b>	<b>51</b>
3.1 INTEGRAÇÃO DE ASPECTOS AMBIENTAIS NO PDP.....	62
3.1.1 Ecodesign.....	63
3.1.2 Design para Sustentabilidade.....	69
3.1.3 ISO/TR 14062.....	70
<b>4 ACV E O PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO.....</b>	<b>78</b>
<b>5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....</b>	<b>92</b>
5.1 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA SOBRE A INTEGRAÇÃO DA ACV AO PDP.....	93
5.2 ESTRUTURAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA.....	95
5.2.1 Modelo de PDP adotado.....	96
5.2.2 Indicadores ambientais.....	97
5.2.3 Avaliação da integração da ACV no PDP.....	98
<b>6 RESULTADOS.....</b>	<b>100</b>
<b>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>120</b>
7.1 SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS.....	122
<b>APÊNDICE A - Protocolo de avaliação da integração da ACV no PDP.....</b>	<b>138</b>
<b>APÊNDICE B - Artigos Publicados.....</b>	<b>145</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O ambiente altamente competitivo em que as empresas estão inseridas, bem como a busca por um diferencial em relação aos seus concorrentes torna-se cada vez mais importante para as organizações buscarem ou manterem uma posição no mercado. Este diferencial pode ser alcançado, dentre outras coisas, através da adoção de práticas que contribuam para o desenvolvimento sustentável. Neste contexto, de acordo com Moreno et al (2011), um aspecto importante da sustentabilidade é o movimento em direção a produtos mais sustentáveis.

No entanto, alguns autores salientam que o desenvolvimento de produtos tem sido percebido como uma questão desafiadora na academia e na indústria por várias décadas e representa um dos principais desafios enfrentados pela indústria do século 21 (MAXWELL e VORST, 2003; GMELIN e SEURING, 2014).

Isso se deve, em parte, em consequência a outros desafios enfrentados pelas empresas, tais como mudanças rápidas nas expectativas dos clientes, a concorrência global, rápida inovação tecnológica encurtando o ciclo de vida do produto e o ambiente socioeconômico (GMELIN e SEURING, 2014; LENZ, 2015; EKMEKCI e KOKSAL, 2015). Além de restrições governamentais em direção a produtos com características sustentáveis que aumentam sucessivamente (GMELIN e SEURING, 2014).

A fim de responder a esses desafios, principalmente os que se referem a questões sustentáveis, fatores ambientais estão recebendo maior atenção em atividades de desenvolvimento de produtos (TELENKO et al, 2016). E técnicas vêm sendo empregadas para auxiliar na avaliação dos impactos causados pelos produtos e pelas atividades industriais. Dentre elas destaca-se a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).

A ACV é uma metodologia utilizada para analisar quantitativamente os potenciais impactos ambientais e de saúde humana referentes a todo o ciclo de vida de um produto.

Devido a suas características, a ACV vem sendo considerada como uma das ferramentas mais poderosas para apoiar os processos de tomada de decisão utilizados na produção sustentável, a fim de aprender sobre as partes mais problemáticas e fases do ciclo de vida de um produto e ter uma projeção para melhorias futuras (ZAFEIRAKOPOULOS e GENEVOIS, 2015).



Neste sentido, de acordo com Guinée (2001) a ACV pode ser aplicada tendo em vista objetivos para tomada de decisões em diferentes situações, como para a avaliação do impacto ambiental da empresa em termos de melhorias de produtos, desenvolvimento de produto ou inovações. A ACV pode, então, ser conduzida para satisfazer a necessidade de decisões que considerem aspectos ambientais no processo de desenvolvimento de produto (PDP) (GMELIN e SEURING, 2014).

Por envolver todo o ciclo de vida do produto, a ACV permite obter uma visão global do sistema do produto, proporcionando um melhor entendimento da interação existente entre a atividade industrial e o meio ambiente, auxiliando na tomada de decisão e no planejamento estratégico da organização. Podendo assim, ser utilizada no processo de desenvolvimento de produto, visando a melhoria dos impactos causados pelos mesmos.

Neste contexto, surge a seguinte questão de pesquisa: **Como a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) pode ser integrada ao processo de desenvolvimento de produto?**

## 1.1 OBJETIVOS DA TESE

Para responder à questão de pesquisa foram traçados os seguintes objetivos:

### 1.1.1 Objetivo Geral

Propor uma metodologia para integração da ACV ao processo de desenvolvimento de produto.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo geral foram traçados os seguintes objetivos específicos:

- Determinar um modelo de desenvolvimento de produto para integração da ACV;

- Identificar as fases do desenvolvimento de produto que a ACV pode ser inserida;
- Mapear as características da ACV que podem auxiliar o desenvolvimento de produto;
- Integrar os resultados da ACV ao PDP.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

A ACV tem sido empregada em várias aplicações ao longo das últimas três décadas e vem se tornando elemento chave em políticas ambientais ou em ações voluntárias nos países da União Europeia, nos Estados Unidos da América, Coréia, Canadá, Austrália e em ascensão em países como a Índia e Japão (GUINÉE, 2011).

No Brasil, a aplicação da ACV ainda se encontra em fase de desenvolvimento, sendo pouco explorada no meio industrial quando comparado a países desenvolvidos, como os da União Europeia. No entanto, com a crescente preocupação relacionada aos impactos ambientais causados pelas atividades industriais sobre o meio ambiente, iniciativas vêm sendo tomadas para a difusão da ACV como ferramenta de gestão ambiental.

Algumas iniciativas brasileiras vêm sendo desenvolvidas através de políticas e ações de entidades governamentais, como por exemplo o Programa Brasileiro em Avaliação do Ciclo de Vida (PBACV) e o Banco Nacional de Inventários do Ciclo de Vida (SICV) desenvolvido pelo IBICT. Segundo o IBICT (2017) o SICV Brasil é a maior contribuição da entidade ao fortalecimento da ACV no país. Outras iniciativas se referem aos estudos que vem sendo desenvolvidos na academia.

Ao se referir à avaliação de impactos ambientais e de saúde humana, a ACV tem ganhado uma atenção notável perante as diversas ferramentas existentes. Uma das principais vantagens da ACV é sua abrangência. Isto significa que a ACV pode fornecer uma visão completa dos impactos causados em todo o ciclo de vida do produto, desde a saída de materiais do meio ambiente na fase de extração de matérias-primas até a disposição final. Devido a esta característica única, a ACV tem atraído cada vez mais atenção de pesquisadores e profissionais, e um grande número de estudos sobre o tema podem ser encontrados na literatura (WANG, CHAN e LI, 2015), o que demonstra a relevância do tema.

A base de dados Scopus, por exemplo, reporta 6.259 artigos com o tema "life cycle assessment" no título, resumo ou palavras-chave no período de 2012 a 2016 e, 6.867 artigos com o termo "product development". Apesar do número crescente de estudos, quando os assuntos são pesquisados em conjunto apenas 89 artigos são encontrados.

Com isso percebe-se que ainda existem lacunas a serem estudadas referente a abordagem do tema ACV no desenvolvimento de produto. Isso torna esta pesquisa relevante, não apenas pelo fato de reforçar a importância que estes temas representam atualmente para as organizações e para a engenharia de produção, mas, por proporcionar uma visão mais abrangente da interdisciplinaridade destes temas.

Além disso, de acordo com Varandas Junior (2014) a integração de aspectos ambientais no processo de desenvolvimento de produto (PDP), ainda não está sendo realizada de forma clara, estruturada e detalhada, conforme as necessidades das empresas e exigências do mercado e sociedade. Nesse sentido, nota-se a necessidade que novas pesquisas sejam realizadas de modo a considerar o potencial da ACV para a melhoria de desempenho ambiental no processo de desenvolvimento de produto.

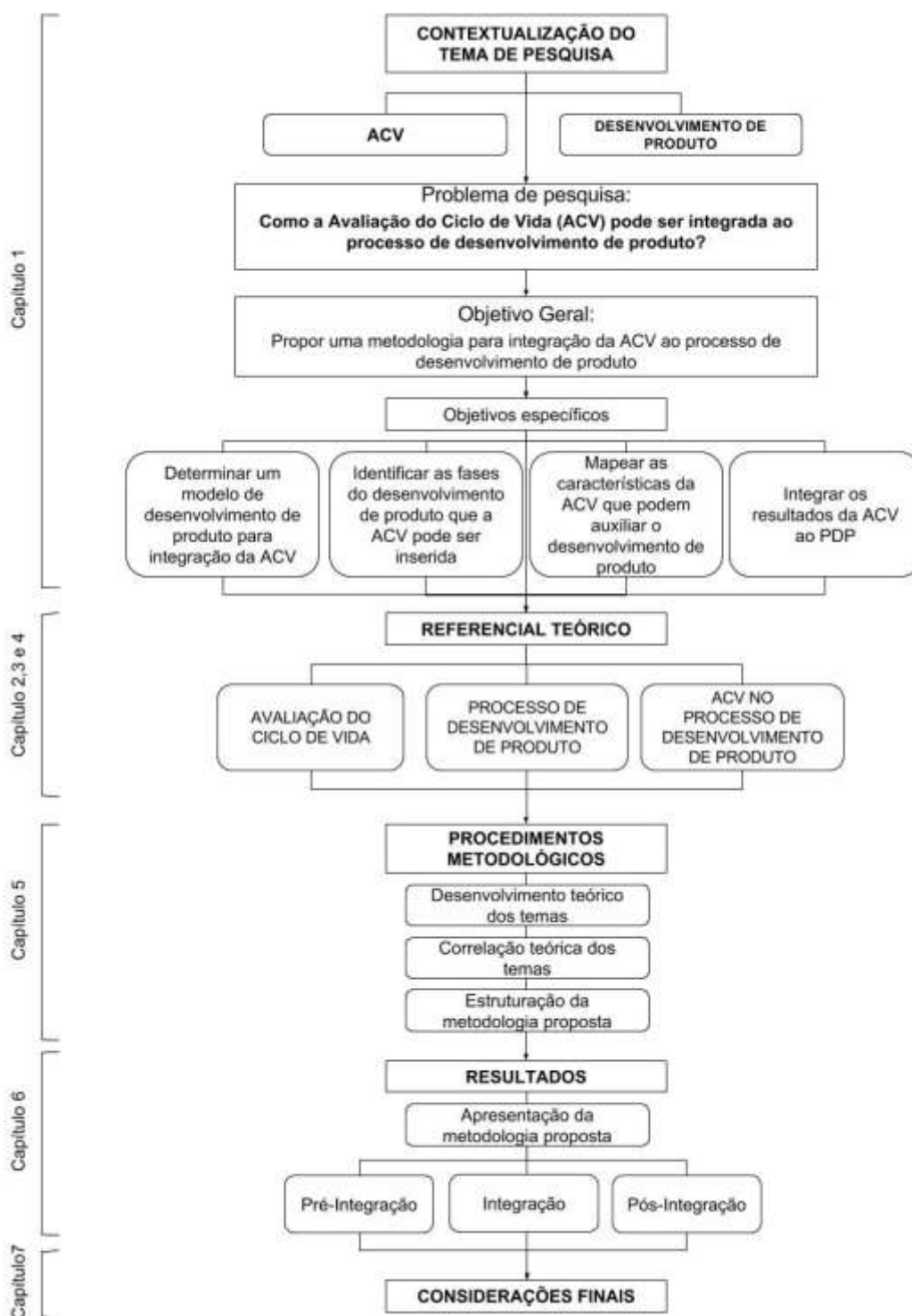
Neste contexto, o ineditismo ou originalidade deste estudo está relacionado a estrutura da metodologia proposta para integração da ACV ao PDP em três macro fases (pré-integração, integração e pós-integração), considerando todas as fases do PDP e Ciclo de Vida do Produto (CVP). Sendo assim, uma das contribuições deste estudo se refere a abordagem da integração da ACV diretamente no PDP, ainda pouco abordada na literatura, conforme demonstrado no capítulo 4. Outra contribuição se refere a estruturação de uma metodologia para integração da ACV no PDP que pode ser aplicada em diferentes empresas, permitindo sua adaptação as características do PDP e necessidades de cada organização.

Desta forma, a metodologia proposta poderá auxiliar as empresas no processo de desenvolvimento de produtos mais sustentáveis, e com isso ter repercussão positiva, aumentando o nível de competitividade da organização e auxiliando as empresas a identificarem novas oportunidades para os produtos desenvolvidos. E também contribuir para as empresas superarem o desafio enfrentado no desenvolvimento de produtos.

### 1.3 ORGANIZAÇÃO DA TESE

Para obter uma visão geral do desenvolvimento da pesquisa é apresentado na Figura 1 um fluxograma com os passos presentes no estudo.

Figura 1 - Fluxograma dos passos para a condução da tese



Fonte: Autoria Própria

## 2 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

Este capítulo apresenta uma visão geral e introdutória sobre a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), bem como os principais componentes que constituem as fases da metodologia para ACV.

De modo geral, a ACV é uma técnica para avaliar aspectos ambientais e impactos potenciais associados a um produto, processo ou serviço, mediante a compilação de um inventário de entradas e saídas pertinentes de um sistema de produto, a avaliação dos impactos ambientais potenciais associados a essas entradas e saídas, a interpretação dos resultados das fases de análise de inventário, e de avaliação de impactos em relação aos objetivos do estudo (ABNT, 2009a; ILCD, 2010).

A ACV utiliza uma abordagem conhecida pela expressão do “berço-a-túmulo” (*cradle-to-grave*), iniciando com a extração de matérias-primas da natureza, passando pela produção, uso, tratamento pós-uso, reciclagem e terminando no momento em que todos os materiais são devolvidos para a natureza (disposição final) (EPA, 2006; LUGLIETTI et al, 2016). A ACV avalia todas as fases do ciclo de vida de um produto a partir da perspectiva de que eles são interdependentes, o que significa que uma operação leva a próxima. Assim, a ACV permite estimar os impactos ambientais cumulativos resultantes de todas as fases do ciclo de vida do produto, incluindo muitas vezes impactos não considerados em análises mais tradicionais, como por exemplo, extração de matéria-prima, transporte de material, descarte do produto final, etc. (EPA, 2006).

No contexto da tomada de decisão, não existe uma solução única que defina a melhor forma de aplicação da ACV. Consequentemente, “cada organização tem que resolver e decidir essa questão caso a caso, dependendo - entre outros fatores - do tamanho e da cultura da organização, de seus produtos, estratégia, sistemas internos, ferramentas e procedimentos, assim como de influências externas” (ABNT, 2009a, p.20).

Com isso, mediante justificativa adequada a ACV pode ser utilizada em diversas aplicações (ABNT, 2009a). Alguns ciclos de vida podem se concentrar em estudos de “berço-a-portão” (*cradle-to-gate*), onde a palavra portão refere-se ao portão da fábrica, e outros no processo de fabricação do produto até o ponto de sair

da fábrica, abordagem portão-a-portão (*gate-to-gate*) (MATTHEWS, HENDRICKSON e MATTHEWS, 2015).

Ao incluir os impactos durante todo o ciclo de vida do produto, a ACV oferece uma visão abrangente dos aspectos ambientais do produto ou processo e um quadro mais preciso das verdadeiras compensações ambientais na seleção de produtos e processos (EPA, 2006).

Por tudo isso, de acordo com Blengini et al (2012) a Avaliação do Ciclo de Vida é um instrumento eficaz para as organizações, proporcionando-lhes antecedentes científicos para apoiar decisões para o consumo e produção sustentáveis durante o gerenciamento do ciclo de vida.

## 2.1 METODOLOGIA DA ACV

O A metodologia para Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é normatizada pela Organização Internacional para Normatização (ISO – *Organization for Standardization*). Sua estrutura é reconhecida internacionalmente e foi desenvolvida e revista ao longo do tempo para orientar estudos em ACV (MATTHEWS, HENDRICKSON e MATTHEWS, 2015). Atualmente a ISO é composta por duas normas relacionadas: ISO 14040 e 14044.

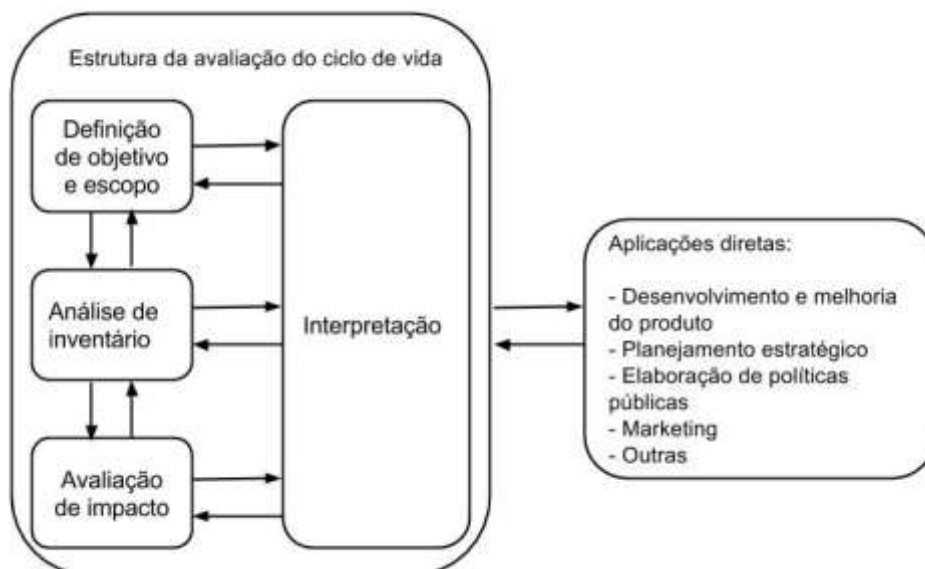
A ISO 14040 (ABNT, 2009a) trata dos princípios e estrutura do padrão atual para ACV, e é escrita para um público gerencial, enquanto a ISO 14044 (ABNT, 2009b) fornece os requisitos e orientações para praticantes da ACV (MATTHEWS, HENDRICKSON e MATTHEWS, 2015).

A metodologia da ACV sugerida pelas normas ISO inclui quatro fases: definição de objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impactos e interpretação de resultados. A interação entre estas fases, bem como, algumas aplicações diretas da ACV podem ser observadas na Figura 2.

De modo geral, na primeira fase, é determinado como o estudo de ACV será conduzido, sendo definido o propósito do estudo e sua dimensão, envolvendo decisões sobre a unidade funcional e os limites do sistema. Na fase de análise de inventário todos os dados necessários são levantados, coletados e analisados. Na fase de avaliação de impacto, os dados gerados na fase anterior são associados a categorias de impactos específicos, examinados e simplificados de forma que estes

impactos possam ser analisados. E na última fase da ACV os resultados são interpretados de acordo com os objetivos definidos na primeira fase do estudo.

**Figura 2 - Fases da ACV**



**Fonte: ABNT (2009a)**

Como pode ser observado na Figura 2, as setas em duplo sentido indicam que o desenvolvimento de um estudo de ACV é um processo iterativo, onde as quatro fases apresentam inter-relações (MATTHEWS, HENDRICKSON e MATTHEWS, 2015). Isso quer dizer que, “à medida que dados e informações são coletados, vários aspectos do escopo podem exigir modificações visando a atender ao objetivo original do estudo” (ABNT, 2009a, p.12).

Desta forma, de acordo com Matthews, Hendrickson e Matthews (2015), o objetivo e escopo podem ser ajustados durante ou após a coleta dos dados do inventário caso algumas limitações sejam encontradas; as fases anteriores à interpretação dos dados podem ser revisadas se os dados coletados não responderem as questões do estudo, ou ainda, pode ser necessário a adição de novas categorias de impacto para facilitar a tomada de decisão após a obtenção dos resultados. Assim, nenhuma das fases é verdadeiramente completa até que todo o estudo esteja completo. Uma descrição mais detalhada de cada fase da ACV é apresentada nas seções seguintes.

### 2.1.1 Definição de Objetivo e Escopo

O primeiro passo para a ACV é a definição do objetivo e escopo do estudo, sendo realizada uma descrição do que será ou não incluído no estudo. Nesta fase, segundo Guiné (2001), são feitas as escolhas iniciais que determinam o plano de trabalho da ACV do produto e são estabelecidas as principais características do estudo.

O objetivo, de acordo com a ABNT (2009a), deve expor de forma clara a aplicação pretendida, as razões para executar o estudo, o público alvo a quem será comunicado os resultados do estudo e se existe intenção de utilizar os resultados em afirmações comparativas a serem divulgadas publicamente.

A fim de atingir o objetivo o escopo deve constituir uma série de informações qualitativas e quantitativas denotando o que será incluído no estudo e uma série de parâmetros chave que descrevem como o estudo será realizado (MATTHEWS, HENDRICKSON e MATTHEWS, 2015). De modo geral o escopo precisa fazer referência a três dimensões: a extensão da ACV (onde iniciar e parar o estudo), a largura da ACV (quantos e quais subsistemas incluir) e a profundidade (nível de detalhes do estudo) (ABNT, 2009a).

Para o detalhamento do escopo, segundo a ISO 14044 (ABNT, 2009b), alguns itens necessitam ser descritos, sendo eles: o sistema de produto a ser estudado; as funções do sistema de produto ou, no caso comparativo, dos sistemas; a unidade funcional; a fronteira do sistema; procedimentos de alocação, metodologia de AICV e tipos/categorias de impactos; interpretação a ser utilizada; requisitos de dados; pressupostos; escolha de valores e elementos opcionais; limitações; requisitos iniciais quanto a qualidade dos dados; tipo de revisão crítica, se aplicável; tipo e formato do relatório requerido para o estudo.

Os quatro primeiros elementos citados apresentam grande importância para a ACV, pois, são responsáveis pelo delineamento inicial que conduzirá todo o estudo.

O sistema de produto se refere ao “conjunto de processos elementares, com fluxos elementares e de produto, desempenhando uma ou mais funções definidas e que modela o ciclo de vida de um produto” (ABNT, 2009a, p. 4).

A função do sistema está relacionada a finalidade do sistema, isto é, diz respeito as características de desempenho do sistema do produto em estudo. De



forma simples, responde a seguinte pergunta: “o que ele faz?”. Por exemplo, uma usina de energia é um sistema de produto que tem uma função de geração de eletricidade (MATTHEWS, HENDRICKSON e MATTHEWS, 2015).

A unidade funcional descreve a função primária satisfeita por um sistema de produto (ILCD, 2010). Um dos propósitos principais de uma unidade funcional é fornecer uma referência em relação à qual os dados de entrada e saída são normalizados (no sentido matemático) (ABNT, 2009b). Por isso, a unidade funcional é usada para comparar produtos equivalentes, ou seja, escalar o ciclo de vida para unidades que são comparáveis (COLLADO-RUIZ e OSTAD-AHMAD-GHORABI, 2010).

Com base no exemplo acima, uma unidade funcional para uma usina a carvão pode ser um quilowatt-hora de eletricidade produzida. Então, uma entrada de carvão pode ser descrita como Kg de carvão por um quilowatt-hora de eletricidade produzida (Kg carvão/KWh) e uma possível saída poderia ser declarada como Kg de dióxido de carbono emitido por quilowatt-hora de eletricidade produzida (Kg CO<sub>2</sub>/KWh) (MATTHEWS, HENDRICKSON e MATTHEWS, 2015).

A fronteira do sistema determina quais processos elementares devem ser incluídos na ACV e o nível de detalhamento com que esses processos devem ser estudados. A seleção da fronteira do sistema deve ser consistente com o objetivo do estudo e os critérios utilizados na determinação da fronteira do sistema devem ser identificados e explicados. Deve também, ser tomadas decisões com relação a quais entradas e saídas devem ser incluídas e o nível de detalhamento da ACV deve ser registrado de forma clara (ABNT, 2009b). Sendo assim, deve ser definido qual das abordagens (*cradle-to-grave*, *cradle-to-gate* ou *gate-to-gate*), serão adotadas no estudo.

De acordo com Agrawal et al (2014), a definição do limite do sistema para qualquer estudo é definida também com base em fatores, como restrição de tempo, disponibilidade de recursos e, o mais importante, a disponibilidade de dados para a pesquisa a ser realizada. AzariJafari, Yahia e Amor (2016), complementam que a definição do limite do sistema também envolve, levando em consideração o âmbito geográfico e temporal, a localização e o período da avaliação.

Numa ACV diferentes tipos de decisões são delineados com base no nível de complexidade e no estágio dentro do estudo em que a decisão deve ser tomada (BUTT, TOLLER e BIRGISSON, 2015). Tais decisões influenciam a seleção do limite

do sistema usando a abordagem atribucional ou consequencial da ACV (AZARIJAFARI, YAHIA e AMOR, 2016), que também deve ser definida nesta primeira fase.

As duas abordagens apresentam situações diferentes de modelar o sistema de um produto. A ACV Atribucional (ACV-A) também chamada de ACV tradicional descreve os potenciais impactos ambientais que podem ser atribuídos ao sistema do produto ao longo de seu ciclo de vida (UNEP, 2011). Expõe os impactos e os fluxos de materiais, energia e emissões dentro de um dado sistema referente a uma unidade funcional especificada (REBITZER et al, 2004). Devido a esta particularidade, esta modelagem faz uso de históricos, dados mensuráveis e de incertezas conhecidas, e inclui todos os processos que são identificados como relevantes para o sistema estudado.

Já a ACV consequencial (ACV-C) é orientada para mudança e tem como objetivo identificar as consequências que uma alteração no sistema tem para outros processos e sistema (UNEP, 2011). Estima, portanto, as alterações no impacto e fluxos de um sistema em resposta a mudanças de cenários na saída da unidade funcional (REBITZER et al, 2004).

Nesta perspectiva a ACV-A avalia os impactos ambientais diretos atribuíveis a um sistema de produção específico e apresenta característica estática e valores médios. Tem sido amplamente utilizada na literatura para relatórios, de rotulagem ecológica, apoio à aplicação de ações de melhoria ou a tomada de decisões em pequena escala, incluindo a elaboração de políticas. No entanto, a ACV-A não fornece um alto nível de apoio para a tomada de decisão em macro escala, devido à incapacidade de avaliar as consequências ambientais (dinâmicas) na mudança de sistemas. Para este fim, a ACV-C avalia as interações que ocorrem entre o sistema de produção analisado e os que podem ser afetados por suas variações (VÁZQUEZ-ROWE e BENETTO, 2014), apresentando características dinâmicas e valores marginais (UNEP, 2011).

A seleção de uma certa abordagem para a ACV (ACV-A ou ACV-C) depende em grande medida do nível de decisão do estudo que está sendo conduzido e quais são as metas a serem alcançadas (BUTT, TOLLER e BIRGISSON, 2015). Por exemplo, conforme pode ser observado no Quadro 1, a abordagem da ACV utilizada pela indústria para o desenvolvimento de produtos e otimização de processos é referente a ACV-C.

**Quadro 1 - Tipos de ACV**

Abordagem da ACV/ Usuários da ACV	ACV-A	ACV-C
<b>Responsáveis políticos / autoridades</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Aquisição governamental</li> <li>– Desenvolvimento de critérios de rotulagem ecológica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Base para o desenvolvimento de políticas ambientais</li> </ul>
<b>Indústria</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Compras</li> <li>– Comunicação com o mercado</li> <li>– Desenvolvimento de PCR</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Desenvolvimento de produtos</li> <li>– Escolha e otimização de processos</li> </ul>

Fonte: Adaptado de Baumann e Tillman (2004)

Delineado todo o estudo de ACV a próxima fase é a realização da Análise de Inventário do Ciclo de Vida, conforme descrito a seguir.

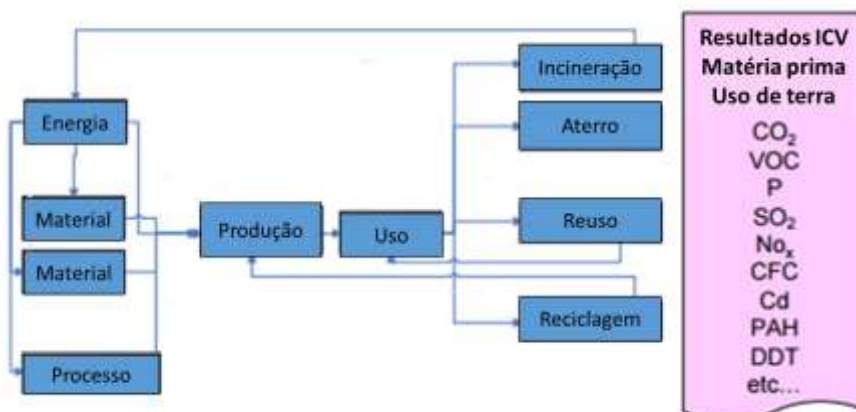
### 2.1.2 Análise de Inventário do Ciclo de Vida (ICV)

A análise de inventário do ciclo de vida (ICV) está relacionada com a coleta dos dados e procedimento de cálculo que tem como objetivo quantificar as entradas e saídas dos contornos do sistema do produto. Estes dados vão constituir a base para a avaliação do impacto do ciclo de vida do produto (ABNT, 2009a).

Nesta fase, todas as emissões liberadas para o ambiente e os recursos extraídos do ambiente ao longo de todo o ciclo de vida de um produto são agrupadas num inventário. O inventário é uma lista dos fluxos elementares, como mostrado na Figura 3 (UNEP, 2011).

Para realização da análise de inventário do ciclo de vida a ISO 14044 recomenda desenhar um diagrama de fluxo, incluindo todos os processos dentro dos limites do sistema (IFU HAMBURG GMBH, 2015). O diagrama de fluxo fornece um resumo de todas as unidades de processos a ser modelada, incluindo as suas inter-relações (GUINÉ, 2004). Este diagrama é útil para compreender e descrever o sistema, conferindo uma visão geral do mesmo para orientar a coleta dos dados.

Figura 3 - Fluxos de informação necessária para um inventário de ciclo de vida



Fonte: Adaptado de UNEP (2011)

A análise de inventário tem início a partir da definição de objetivo e escopo e é realizada por meio de uma sequência de passos operacionais sugeridos pela ISO 14044, conforme pode ser visualizado na Figura 4.

Figura 4 - Procedimentos para análise de inventário



Fonte: ABNT (2009b)

De modo geral a análise de inventário se resume em: coleta de dados, procedimentos de cálculo e alocação.

a) Coleta dos dados

A coleta de dados é uma das principais tarefas da fase de inventário e envolve grandes quantidades de dados. Para tornar estes comparáveis e coerentes entre si, um formato de dados padrão deve ser desenvolvida (GUINÉ, 2004).

Os dados qualitativos e quantitativos a serem incluídos no inventário devem ser coletados para cada processo elementar incluído na fronteira do sistema. Os dados coletados, sejam eles medidos, calculados ou estimados, são utilizados para quantificar as entradas e saídas de um processo elementar (ABNT, 2009b).

A coleta de dados pode abranger vários locais de origem e referências publicadas (ABNT, 2009b). Deste modo, duas fontes de dados podem ser utilizadas para a coleta de dados: dados primários e dados secundários.

A primeira opção é coletar dados primários diretamente no local de produção e fornecedores. No entanto, normalmente, nem todos os dados podem ser coletados como dados primários (por exemplo, com base em medições) durante todo o ciclo de produção. Recorre-se então, aos dados secundários. Neste caso alguns dados poderão ser estimados com base em conhecimento especializado e outros aproximados com a utilização de dados encontrados a partir de fontes publicadas, como por exemplo nas bases de dadosecoinvent e GaBi (IFU HAMBURG GMBH, 2015).

Outras fontes de dados secundários incluem sites governamentais, organizações comerciais ou documentação técnica. Quando estas fontes forem utilizadas, é importante verificar se os dados secundários foram publicados para fins de ACV e se é coerente com o âmbito de aplicação da ACV (IFU HAMBURG GMBH, 2015). Isso é importante porque a qualidade dos dados tem uma grande influência sobre os resultados (GUINÉ, 2004). Dados com qualidade inapropriada pode levar a resultados contrários ao esperado e levar a conclusões distorcidas.

b) Procedimentos de cálculo e validação dos dados

Após a coleta dos dados, estes devem ser tratados de forma a possibilitar sua operacionalização. Esse tratamento é feito por meio da validação dos dados, correlação dos dados aos processos elementares e unidades funcional e agregação dos dados (ABNT, 2009b).

A validação pode ser efetuada, por meio do uso de balanços de massa, balanços de energia e/ou análises comparativas de fatores de emissão (ABNT, 2009b), com intuito de avaliar se as informações estão completas. Caso anomalias sejam identificadas, dados alternativos podem ser empregados desde que estejam em conformidade com a seleção de dados estabelecida (ABNT, 2009b). Este processo, pode ser realizado com a ajuda de softwares de ACV (descritos no item 2.1.2.3), para facilitar a tabulação e análise dos dados.

Os dados quantitativos de entrada e saída do processo elementar devem ser calculados com relação ao fluxo determinado para cada processo elementar. Ou seja, os fluxos de todos os processos elementares devem ser relacionados ao fluxo de referência. Deste modo, todas as entradas e saídas do sistema resultantes do cálculo realizado devem estar relacionados à unidade funcional determinada na fase anterior. A agregação dos dados deve ser feita apenas se esses dados estiverem relacionados a substâncias e a impactos ambientais semelhantes (ABNT, 2009b).

O resultado desse processo, é uma tabela que constitui as entradas e saídas referente ao inventário do ciclo de vida do produto, com valores agregados aos aspectos ambientais como energia, matérias-primas, emissões e resíduos, etc.

Nesta análise, é comum encontrar casos onde na mesma unidade de processo se obtenha além do produto principal um coproduto. Nestes casos outra forma de tratamento dos dados é o processo de alocação, descrito a seguir.

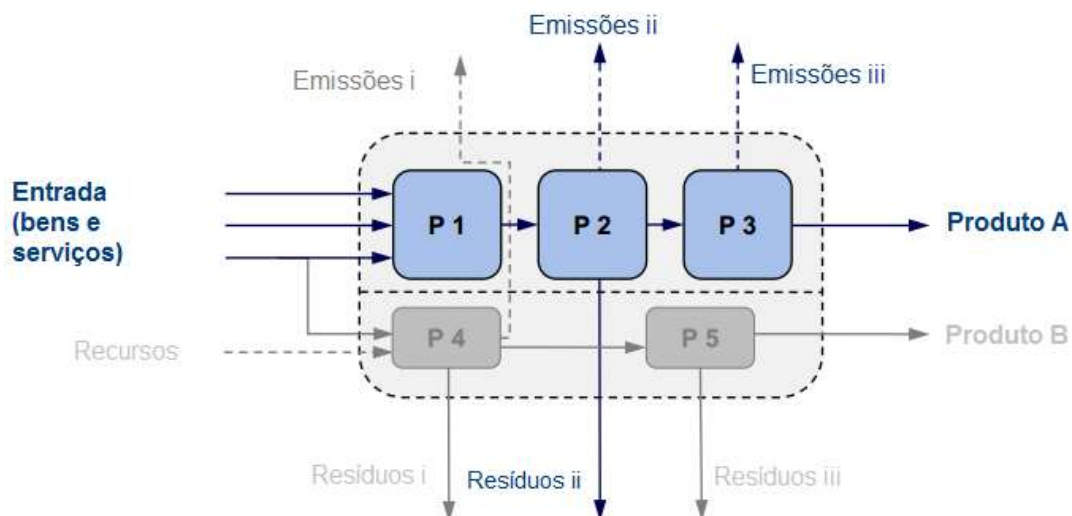
#### c) Alocação

A maioria dos processos industriais são multifuncionais, neste caso, as saídas do processo geralmente compreendem mais do que um único produto (GUINÉ, 2004). Nestes casos, uma decisão deve ser tomada em relação a qual fração de emissões serão atribuídas para cada um dos produtos gerados pelo processo (IFU HAMBURG GMBH, 2015).

De modo geral, quando o sistema envolve mais de um produto, os fluxos de materiais e de energia e as liberações associadas ao ambiente, devem ser alocados aos diferentes produtos (ABNT, 2009).

Ao enfrentar um problema de alocação, o primeiro passo deve ser sempre para analisar o processo e talvez subdividir esse processo em processos individuais (IFU HAMBURG GMBH, 2015). Um exemplo é apresentado na Figura 5.

**Figura 5 - Subdivisão do processo para alocação**



**Fonte: ILCD (2010)**

Um procedimento de alocação adequada é, portanto, necessária para atribuir as entradas e saídas de todos os processos relevantes para os sistemas de produtos adequados (GUINÉ, 2004).

Para isso, a ISO 14044 (ABNT, 2009b) apresenta os procedimentos a serem adotados caso a alocação seja necessária:

- a) Passo 1: Convém que a alocação seja evitada, sempre que possível, por meio de: 1) divisão dos processos elementares a serem alocados em dois ou mais subprocessos e coleta dos dados de entrada e saída relacionados a esses subprocessos; 2) expansão do sistema de produto de modo a incluir as funções adicionais relacionadas aos coprodutos.
- b) Passo 2: Quando a alocação não puder ser evitada, convém que as entradas e saídas do sistema sejam subdivididas entre seus diferentes produtos ou funções, de maneira a refletir as relações físicas subjacentes entre eles; isto é, convém que seja refletida a maneira pela qual as entradas e saídas são alteradas por mudanças quantitativas nos produtos ou funções providas pelo sistema.
- c) Passo 3: Quando uma relação física por si só não puder ser estabelecida ou usada como base para a alocação, convém que as entradas sejam alocadas entre os produtos e funções de uma maneira que reflita outras relações entre eles. Por exemplo, dados de entrada e saída podem ser alocados entre coprodutos proporcionalmente ao seu valor econômico (ABNT, 2009b, p.15).

Há um consenso geral de que evitar a alocação através da modelagem de sub processo e expansão do sistema é uma maneira atrativa de lidar com este problema. Pelo fato de ambas as abordagens fazerem com que seja necessária a coleta de mais dados a fim de completar a análise, deixando o estudo mais complexo. Além disso, coletar mais dados significa mais tempo e esforço, o que influencia na viabilidade do estudo, especialmente se os dados para os

subprocessos ou para o sistema expandido não podem ser facilmente adquiridos (CURRAM, 2013).

De acordo com Curram (2013), a alocação econômica parece ser a abordagem preferida e é percebida como o melhor caminho para capturar as atividades de reciclagem a jusante. No entanto, é difícil determinar qual procedimento é o mais "justo" uma vez que este é um termo subjetivo e depende da perspectiva de quem está realizando o estudo.

Depois de feitos estes procedimentos obtêm-se os aspectos ambientais associados ao ciclo de vida do produto de forma quantificada. A tabela obtida após o tratamento dos dados poderá ser então avaliada para obtenção dos impactos ambientais associados ao ciclo de vida do produto em questão.

#### 2.1.2.1 Ferramentas para avaliação do ciclo de vida

Como um estudo de ACV gera e necessita de uma grande quantidade de dados, com o desenvolvimento e aprimoramento da técnica, foram sendo desenvolvidas ferramentas específicas e base de dados para apoio a realização de uma ACV.

De acordo com Cherubini e Ribeiro (2015), os softwares de gestão e manipulação de dados para a ACV na Europa e no Brasil existe uma maior tendência ao uso do SimaPro®, do GaBi e do Umberto. Outro software que se destaca é o openLCA desenvolvido pela GrenDelta e disponibilizado de forma gratuita.

O SimaPro foi desenvolvido por uma empresa de consultoria holandesa *Pré Consultants* para, de acordo com Silva (2002), analisar, identificar e comparar os impactos ambientais de diferentes produtos. Este *software* apresenta duas bases de dados principais: uma de inventário e uma de avaliação. Estas bases são organizadas em seis categorias: materiais, energia, transportes, processos, utilizações e estratégias de condicionamento e de processamento de resíduos. Isso permite ao *software* identificar quais são os materiais ou processos que têm maior influência no impacto ambiental global de um produto.

O *software* Gabi, foi desenvolvido pela Universidade de Stuttgart e pela empresa de consultoria PE Europe. De acordo com Passuelo (2007) este *software* é



bastante flexível, apresentando os dados de análise de impacto, inventário e modelos de ponderação separados, permitindo trabalhar em módulos que podem ser facilmente manuseados e depois interligados para o cálculo. Sua estrutura está dividida em fluxos, processos, planos e balanços, isso permite a alocação de múltiplos processos.

O Umberto foi desenvolvido pela instituição Alemã *ifu Institut für Umweltinformatik Hamburg GmbH* (Instituto de Informática Ambiental Hamburg Ltda.), para modelagem, visualização de cálculo e avaliação dos sistemas de fluxo de materiais e energia, tendo como finalidade organizar os dados obtidos no ICV possibilitando clareza na obtenção e interpretação dos resultados.

Cada *software* desenvolvido para apoio a ACV apresenta características diferentes e, devido ao grande número de ferramentas que podem ser utilizadas nestes estudos, um ponto importante na sua escolha, de acordo com EPA (2006), é verificar se ele atenderá o nível de análise requerida dos dados para cumprimento do objetivo estabelecido. Outros critérios, de acordo com Silva et al (2017), a serem considerados podem ser em relação a funcionalidade, flexibilidade, banco de dados, facilidade de uso, propriedades do software, serviço e custo.

Além dos softwares, outro ponto importante que permite a realização da ACV são as bases de ICV. De acordo com Cherubini e Ribeiro (2015, p.16), essas bases de dados podem ser classificadas em dois formatos principais, o International Reference Life Cycle Data System (ILCD) e o ecoSpold.

O ILCD, “é uma coleção de publicações, documentos e ferramentas para o desenvolvimento e compartilhamento de dados de ICV e AICV e foi desenvolvido pelo Joint Research Center (JRC). Neste sistema, os direitos de propriedade são exclusivos da organização geradora dos dados” (CHERUBINI e RIBEIRO, 2015, p.16).

O formato ecoSpold, foi desenvolvido peloecoinvent Center e é o mais abrangente e completo na troca de dados de ICV em âmbito global atualmente. Além disso, e é também o formato de dados mais utilizado em projetos de ACV desenvolvidos no Brasil (CHERUBINI e RIBEIRO, 2015, p.16).

O Ecoinvent se trata de uma base de dados internacional, apresentando ICV em diversas áreas: agricultura, abastecimento de energia, transportes, bicomustíveis e biomateriais, produtos químicos a granel e de especialidade, materiais de construção, materiais de embalagem, metais básicos e preciosos,

processamento de metais, as TIC e eletrônica, bem como o tratamento de resíduos. Os ICV são baseados em dados industriais compilados por institutos de pesquisa de renome internacional e consultores da ACV (ECOINVENT, 2010). Os dados disponíveis são compatíveis com as principais ferramentas (*software*) de ACV (ECOINVENT, 2010). Tendo isso em vista, é considerada como uma das fontes de dados de inventário de ciclo de vida mais populares, utilizada para apoiar a modelagem da ACV (ZHOU, CHANG e FANE, 2011).

O ecoinvent Center permite que entidades terceiras e empresas forneçam seus conjuntos de dados de forma gratuita, sendo que o centro fica com direitos não exclusivos para a sua integração na base de dados (CHERUBINI e RIBEIRO, 2015, p.16).

De acordo com Cherubini e Ribeiro (2015, p.16), a base de dados de ICV brasileira está atualmente em construção e é coordenada pelo Ibict. No entanto, alguns conjuntos de dados de produtos brasileiros podem ser encontrados na base de dados do ecoinvent, Gabidatabase´13 e Agri-footprint 1.0.

### 2.1.3 Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV)

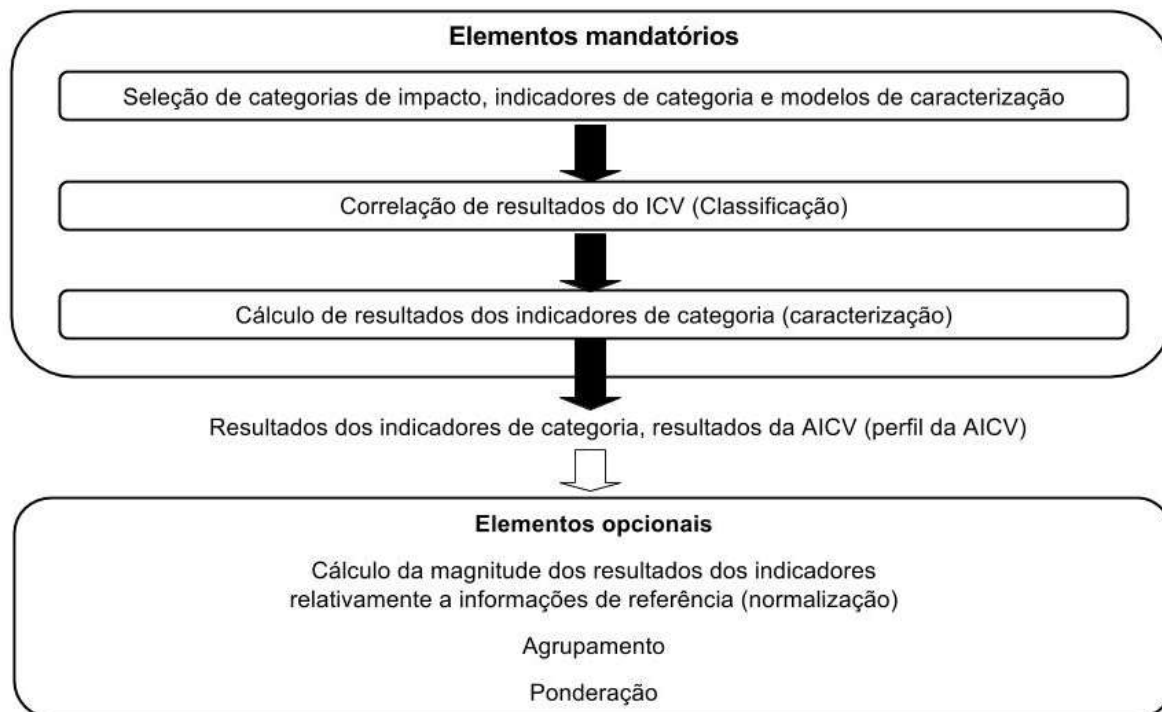
A fase de avaliação do impacto do ciclo de vida (AICV) avalia a significância dos impactos ambientais potenciais relacionados ao ciclo de vida do produto. Isto significa, segundo Zhou, Chang e Fane (2011) e Bare (2010), que a AICV fornece indicadores e a base para analisar as potenciais contribuições das extrações de recursos, resíduos e emissões de um inventario para uma série de impactos potenciais de forma quantitativa.

Esta avaliação ocorre, por meio da correlação dos resultados da análise do inventário com categorias de impacto específicas e indicadores de categoria (ABNT, 2009a). Obtendo-se como resultado uma avaliação com base em uma unidade funcional, em termos de várias categorias de impactos (ZHOU, CHANG e FANE, 2011).

Para a realização da AICV são considerados elementos obrigatórios e elementos opcionais. Os elementos obrigatórios englobam a seleção de categorias de impacto, classificação e caracterização, já os elementos opcionais englobam a

normalização, agrupamento e ponderação, conforme pode ser observado na Figura 6.

**Figura 6 - Elementos da fase de AICV**



**Fonte: ABNT (2009a)**

Uma descrição dos elementos considerados obrigatórios da AICV é apresentada a seguir:

a) Seleção de categorias de impacto, indicadores de categoria e modelos de caracterização:

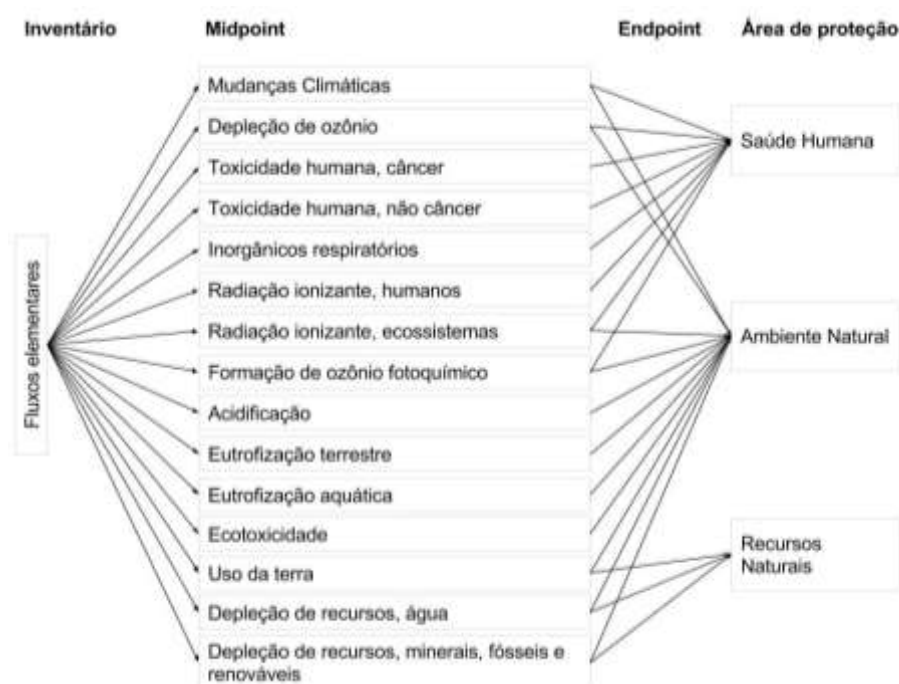
Neste momento do estudo são definidas as categorias de impactos, os indicadores de categorias e modelos de caracterização que serão utilizados na AICV.

As categorias de impacto, representam as questões ambientais de interesse as quais os resultados da análise do inventário podem ser associados (ABNT, 2009b). Estas categorias estão associadas a escala de impactos globais (como por exemplo, mudanças climáticas e depleção da camada de ozônio), regional e/ou locais (como é o caso da acidificação e uso da água) e, locais (como a eutrofização, efeitos respiratórios e ecotoxicidade). Existe ainda as categorias que podem combinar as três escalas como é o caso do uso da terra e o esgotamento de recursos (FEHRENBACH et al, 2015; ILCD, 2010).

A seleção das categorias de impacto e indicadores de categoria é muitas vezes realizada utilizando-se listas padrão de categorias de impacto. No entanto, a integralidade destas listas padrão de categorias de impacto devem ser justificadas no estudo (GUINÉE, 2015).

Na Figura 7 podem ser observadas as categorias de impacto e as áreas de proteção comumente incluídas em um estudo de AICV.

**Figura 7 - Categorias de impacto a nível midpoint e endpoint**



**Fonte: Adaptado de Hauschild (2013)**

Como pode ser observado na figura citada anteriormente, as categorias de impacto podem ser caracterizadas como *midpoint* e *endpoint*, dependendo da abordagem do modelo de avaliação escolhido. De acordo com o ILCD (2010), no nível *midpoint* um maior número de categorias de impacto é diferenciado e os resultados são mais exatos e precisos em comparação com os de nível *endpoint* que são comumente usados para a avaliação de ponto de extremidade.

A “categoria de impacto *midpoint* é também chamada de abordagem orientada ao problema, ao passo que, a categoria *endpoint* é conhecida como abordagem orientada ao dano” (PIEKARSKI, 2015, p.54). Sendo assim, as três áreas de proteção consideradas na AICV, qualidade do ecossistema, saúde humana e depleção de recursos, são caracterizadas como *endpoint* (HAUSCHILD et al, 2013; MATTHEWS, HENDRICKSON e MATTHEWS, 2015).

A escolha das categorias de impacto, indicadores de categoria e abordagem dos impactos, juntamente com o modelo de caracterização, devem estar relacionados ao objetivo e escopo da ACV e abordar um conjunto de questões ambientais relevantes relacionadas ao sistema do produto em avaliação (ABNT, 2009b). Os modelos de caracterização, abordam uma série de categorias de impacto específicas, e também são conhecidos como métodos ou modelos de avaliação de impacto do ciclo de vida (HAUSCHILD et al, 2013; BARE, 2010). Uma abordagem sobre os métodos de avaliação é apresentada com mais detalhes no item 2.1.3.1 deste trabalho.

#### b) Classificação

A classificação é o primeiro elemento quantitativo da AICV. Neste momento do estudo os dados do inventário são organizados e atribuídos a cada uma das categorias de impacto, para então serem convertidos em indicadores utilizando o modelo de avaliação escolhido (ILCD, 2011; IOSIP, 2012).

De acordo com Guiné (2015), este processo utiliza listas padrão de itens do inventário que são atribuídos as categorias de impacto padrão contidas nos métodos de AICV. O Quadro 2 apresenta uma relação de resultados típicos do ICV que podem ser atribuídos a cada categoria de impacto.

Os fluxos elementares (dados) do inventário são atribuídos às categorias de impacto de acordo com a capacidade das substâncias de contribuir para diferentes problemas ambientais (ILCD, 2010a). Por exemplo, a atribuição de emissões de CO<sub>2</sub> para o aquecimento global (IOSIP, 2012).

**Quadro 2 - Classificação de dados do ICV nas categorias de impacto**

<b>Categorias de Impacto</b>	<b>Exemplos de dados do ICV (classificação)</b>
Aquecimento Global	Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ), óxido nitroso (N <sub>2</sub> O), metano (CH <sub>4</sub> ) Clorofluorcarbonos (CFCs), hidroclorofluorcarbonetos (HCFCs), brometo de metilo (CH <sub>3</sub> Br)
Destruição do ozônio estratosférico	Clorofluorcarbonos (CFCs), hidroclorofluorcarbonetos (HCFC), halons (hidrocarboneto halogenado), brometo de metilo (CH <sub>3</sub> Br)
Acidificação	Óxidos de enxofre (SO <sub>x</sub> ), óxidos de azoto (NO <sub>x</sub> ), ácido clorídrico (HCl), ácido fluorídrico (HF), amônia (NH <sub>4</sub> )
Eutrofização	Fosfato (PO <sub>4</sub> ), óxido de azoto (NO), dióxido de azoto (NO <sub>2</sub> ), nitratos, amônia (NH <sub>4</sub> )
Fumaça fotoquímica	Hidrocarbonetos não-metano (NMHC)
Toxicidade terrestre	Produtos químicos tóxicos, com uma concentração letal relatado para roedores
Toxicidade aquática	Produtos químicos tóxicos, com uma concentração letal para pesca
Saúde humana	Total de emissões para o ar, água e solo.
Depleção de recursos	Quantidade de minerais utilizados, quantidade de combustíveis fósseis utilizados

Uso da terra	Quantidade eliminada em aterros ou outras modificações de terra
Uso da água	A água utilizada ou consumida

**Fonte: Adaptado de Matthews, Hendrickson e Matthews (2015)**

De modo geral, como pode ser observado no Quadro 2, estes fluxos podem ser classificados dentro de múltiplas categorias de impacto. Sendo assim, vários tipos de emissões atmosféricas podem ser classificadas nas categorias de impacto mudança climática, acidificação, e outras. De acordo com Matthews, Hendrickson e Matthews (2015), nestes casos, todo o fluxo é classificado em cada categoria, não sendo atribuído apenas para uma categoria, e não tendo os seus fluxos alocados para outra categoria de impacto.

Segundo os mesmos autores, alguns problemas potenciais podem ocorrer no processo de classificação. Um método de AICV contém uma grande lista de fluxos de ICV classificáveis, mas, o inventário feito pode ser tão simplificado que os fluxos a serem classificados não foram estimados. Ou então, um ICV relativamente substancial pode conter fluxos que não podem ser classificados em qualquer um dos métodos de ICV selecionados. Sendo assim, estes problemas devem ser identificados durante o estudo e, o objetivo e escopo, assim como os resultados do inventário devem ser revistos para assegurar que os fluxos relevantes sejam identificados de modo que o método selecionado possa ser aplicado ou então o método de AICV deverá ser ajustado.

#### c) Caracterização

Nesta etapa cada item do inventário é modelado quantitativamente (HAUSCHILD, 2013), através de fatores de caracterização para criar indicadores de categorias de impacto relevantes (MATTHEWS, HENDRICKSON e MATTHEWS, 2015).

O modelo de caracterização calcula fatores de caracterização de substâncias específicas que expressam o impacto potencial de cada fluxo elementar em termos da unidade comum do indicador de categoria (HAUSCHILD et al, 2013). Isso significa que, o inventário resultante do sistema investigado pode ser caracterizado com fatores de caracterização específicos das substâncias para a categoria de impacto escolhida (FANG e HEIJUNGS, 2015).

Deste modo, os fatores de caracterização permitem a comparação de forma quantitativa dos diferentes fluxos elementares em termos da sua capacidade de contribuir para o indicador de categoria de impacto (FANG e HEIJUNGS, 2015;

HAUSCHILD et al, 2013). Como por exemplo, quilogramas equivalentes de CO<sub>2</sub> de gases de efeito estufa que contribui para a categoria de impacto mudanças climáticas (IOSIP, 2012). Assim, o fator de caracterização dá uma expressão relativa do potencial de impacto de cada fluxo elementar (HAUSCHILD et al, 2013).

Comumente, de acordo com Fang e Heijungs (2015), os procedimentos de caracterização são dados pela Equação 1:

$$I_j = \sum_i M_i \times cf_{ij} \quad (1)$$

Onde:

$I_j$  = indicador de resultado para categoria de impacto  $j$  (por exemplo, Kg-eq., Kg-eq/ano);

$M_i$  = quantificação de emissão ou extração da substância  $i$  (por exemplo, kg, kg/ano, m<sup>3</sup>/ano);

$cf_{ij}$  = fator de caracterização para a substância  $i$  em relação a categoria de impacto  $j$  (por exemplo, kg-eq./kg, m<sup>3</sup>-eq./kg).

O procedimento de caracterização da Equação 1, é um processo embutido nos métodos de AICV. No exemplo de impacto de mudanças climáticas, o método IPCC é conhecido por criar valores de equivalência potencial de aquecimento global dos gases de efeito estufa, onde o CO<sub>2</sub> por definição é dado com valor 1 e os outros gases de efeito estufa têm um fator de caracterização quilograma equivalente de CO<sub>2</sub> (Kg CO<sub>2</sub>-equiv. ou Kg CO<sub>2</sub>e) (MATTHEWS, HENDRICKSON e MATTHEWS, 2015).

A caracterização consiste no último elemento obrigatório da AICV, a partir dela, pode-se dar início a fase de interpretação. No entanto, existem mais três elementos considerados opcionais pela ISO 14044 (ABNT, 2009b) – normalização, agrupamento e ponderação – que podem ser empregados, dependendo do objetivo e escopo da ACV, para facilitar a interpretação dos resultados. Estes elementos são apresentados a seguir.

#### a) Normalização

A normalização consiste em um dos elementos opcionais da fase AICV. De acordo com a ISO 14044 (ABNT, 2009b) o objetivo da normalização é entender

melhor a magnitude relativa para cada resultado de indicador do sistema de produto em estudo.

De acordo com Sleeswijk (2008), a normalização torna possível traduzir pontuações de impactos abstratos para cada categoria de impacto em contribuições relativas do produto para uma situação de referência. Com isso pode apoiar a interpretação dos resultados da caracterização em termos de relevância ambiental relativa dos impactos (BENINI e SALA, 2016).

Sendo assim, a normalização é um processo para quantificar o impacto do sistema em estudo em relação à de um sistema de referência (KIM et al, 2013). Proporcionando uma perspectiva ou contexto temporal e espacial para os resultados da AICV e também para ajudar a validar os resultados obtidos (MATTHEWS, HENDRICKSON e MATTHEWS, 2015).

Alguns exemplos de valores de referência para a normalização, de acordo com a ISO 14044 (ABNT, 2009b) são: as entradas e saídas totais para uma dada área que pode ser global, regional, nacional ou local; as entradas e saídas totais para uma dada área em uma base per capita ou outra medida similar, e entradas e saídas em um cenário de linha-base, tal como um dado sistema alternativo de produto.

O fato de os resultados da normalização serem expressos na mesma unidade para cada pontuação de impacto faz com que seja mais fácil fazer comparações entre os escores de impacto das diferentes categorias de impacto (SLEESWIJK, 2008). O que a torna amplamente praticada em apoio a decisão baseada na ACV (KIM et al, 2013).

Na fase de normalização as referências de normalização (RN) são os resultados caracterizados de um sistema de referência. Sendo que o resultado caracterizado de cada categoria de impacto é dividido pela RN da mesma categoria de impacto. Conforme apresentado na Equação 2 (KIM et al, 2013).

$$N_i = C_i / R_i \quad (2)$$

Onde:

$N_i$  = resultados normalizados da categoria o impacto  $i$ ,

$C_i$  = impacto caracterizada de categoria o impacto  $i$ , e

$R_i$  = impacto caracterizado impacto da categoria  $i$  do sistema de referência.



Fatores de normalização podem ser associado a cada indicador de categoria de impacto, tanto a nível *midpoint* ou *endpoint*. Porém, a seleção de um sistema de referência para o cálculo de normalização deve ser consistente com os limites do sistema do produto avaliado (LAUTIER, 2010).

De acordo com Domingues et al (2015), dois tipos de técnicas de normalização podem ser aplicadas para expressar a significância dos resultados de impacto: a normalização interna, e a normalização externa.

A normalização interna consiste em utilizar os maiores e menores impactos de diferentes alternativas que estão sendo comparados como referências para transformar as escalas originais dentro do intervalo [0,1] (DOMINGUES et al, 2015). Segundo Lautier (2010), a normalização interna pode ser usada em estudos de ACV comparativos, onde uma das alternativas é selecionado como referência

Já a normalização externa considera como um sistema de referência os impactos em todo o mundo ou os impactos de uma população de uma área específica, em um determinado ano (DOMINGUES et al, 2015). Considera, portanto, os impactos totais de um sistema de referência, como por exemplo, uma área geográfica (região, país, continente ou do mundo) podendo ser expressa em uma base anual ou em equivalentes por habitante (LAUTIER, 2010). Utilizar essas referências pode ser útil para revelar a magnitude dos impactos num contexto mais amplo (DOMINGUES et al, 2015).

A normalização é frequentemente utilizada para preparar os resultados para procedimentos adicionais, tais como a ponderação e agrupamento. Assim, a normalização deve ser conduzida com os passos de agrupamento ou de ponderação em mente para que a consistência em perspectiva seja alcançada (BARE, 2010). Agrupamento é o tema abordado a seguir.

#### b) Agrupamento

Agrupamento consiste em correlacionar categorias de impacto em um ou mais conjuntos a fim de atingir os resultados definidos no objetivo e escopo do estudo. A classificação para isso é baseada em valores, e tem dois procedimentos possíveis. O primeiro é ordenar as categorias de impacto em uma base nominal, como por exemplo, as características de emissões e recursos ou escalas regionais e locais. O segundo é classificar as categorias de impacto de acordo com uma dada hierarquia como alta, média e baixa prioridade (ABNT, 2009b).

De acordo com Matthews, Hendrickson e Matthews (2015), o agrupamento é realizado por triagem e/ou classificação dos resultados da AICV caracterizados ou normalizados, uma vez que a normalização não é um passo obrigatório e pode não ter sido realizada. Por triagem os resultados podem ser agrupados por dimensões de valores, escalas e características de espaço, etc. Por classificação, pode ser feito por meio da criação de uma hierarquia de prioridade de impactos, subjetivamente definida em alta, média e baixa, a fim de colocar os impactos em contexto com o outro.

Ainda segundo os autores, como se baseia em escolha de valores o agrupamento é subjetivo e deve reconhecer que outros envolvidos podem criar classes baseadas em diferentes prioridades para classificar os impactos.

#### c) Ponderação

A ponderação é o último elemento opcional da AICV. De acordo com a ISO 14044 (ABNT, 2009b) trata-se de um processo de conversão dos resultados dos indicadores de diferentes categorias de impacto por meio do uso de fatores numéricos baseados em escolha de valores.

Um conjunto de fatores são desenvolvidos, para cada uma das categorias de impacto escolhidas, e os resultados são multiplicados pelos fatores de ponderação para criar um conjunto de impactos ponderadas. Isso é feito para gerar uma única pontuação global, ou um pequeno conjunto de pontuações, a partir de um conjunto maior de resultados de AICV que de outra forma seriam representadas em diferentes unidades de impacto subjacentes (MATTHEWS, HENDRICKSON e MATTHEWS, 2015).

Assim, os fatores de ponderação podem ser determinados com base no valor ( $\alpha_i$ ) para as categorias de impacto individuais conforme Equação (3) apresentada por Bare (2010).

$$W = \sum_i \alpha_i D_i / NV_i \quad (3)$$

Onde:

$W$  = pontuação ponderada para todas as categorias de impacto agregado;

$\alpha$  = fator de ponderação baseada em valor para a categoria de impacto individual  $i$ ;

$D_i$  = impactos potenciais quantitativos para a categoria de impacto individual ( $i$ );

$NVi$  = valor de normalização para cada categoria de impacto individual (i).

Por depender de escolha de valor a ponderação é considerada um processo subjetivo, pois avalia múltiplos indicadores de acordo com as prioridades individuais de cada autor (indivíduos, organizações e sociedade) (PRADO-LOPES et al, 2014). Em consequência disso, pode-se obter resultados de ponderação diferentes com base nos mesmos resultados de indicadores ou resultados normalizados (ABNT, 2009b).

Devido a subjetividade desse processo a ISO 14040 recomenda o uso de diferentes fatores e métodos de ponderação e o uso de análises de sensibilidade para avaliar as consequências de diferentes escolhas de valores e métodos de ponderação sobre os resultados da AICV. Além disso, de acordo com Matthews, Hendrickson e Matthews (2015), o método utilizado para gerar os fatores de ponderação e, os fatores de ponderação devem ser documentados ou referenciados. Do mesmo modo, os resultados AICV devem ser apresentados com e sem fatores de ponderação aplicados, para que os resultados ponderados e os efeitos do método de ponderação sejam claros.

De modo geral, a ponderação entre categorias de impacto facilita a tomada de decisão, porém, de acordo com a ISO 14044 seu uso não é permitido para afirmações comparativas comunicadas ao público por causa de sua subjetividade e incerteza. No entanto, a ponderação facilita a elaboração de políticas (HELLWEG e CANALS, 2014).

#### 2.1.3.1 Métodos para AICV

A avaliação de impacto do ciclo de vida geralmente envolve uma lista muito longa de emissões e recursos consumidos resultantes do ICV, e a interpretação desta lista é um processo difícil. Assim, os métodos de AICV, são projetados para auxiliar esta interpretação. Atualmente existem diversos métodos que podem ser aplicados na fase de AICV, sendo que cada um deles apresentam características próprias.

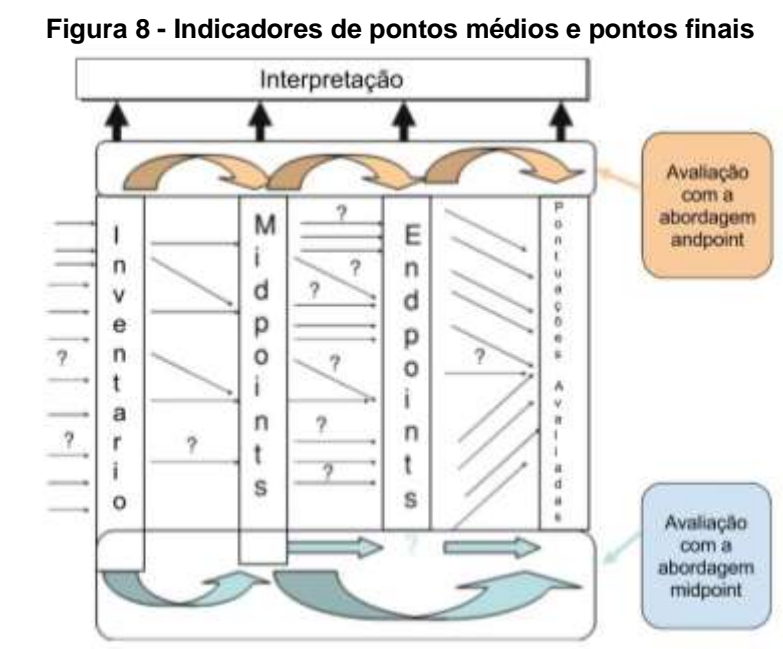
As principais características dos métodos de AICV existentes podem ser classificados de acordo com vários parâmetros. Um deles está relacionado ao nível

das categorias de impacto abrangidas pelo método (BUENO, 2016). Os métodos podem ser agrupados pelo nível de avaliação no ponto médio (*midpoint*) ou ponto final (*endpoint*) e alguns tem uma abordagem combinada, que inclui fatores de caracterização nos dois níveis.

De acordo com Fehrenbach et al (2015), a seleção de um indicador de ponto final reflete o objetivo de considerar a cadeia causal a partir do aspecto ambiental antrópica (como por exemplo, extração ou emissão para o ambiente) para os efeitos nocivos final de ordem superior. A distinção se um indicador de categoria de impacto pode ser classificado como ponto médio ou ponto final é relacionado com a proximidade com o nível do inventário do ciclo de vida.

Um indicador de ponto médio mostra proximidade com os resultados do ICV, sendo assim, modelam o impacto primário, e estão localizados entre a emissão e o efeito nocivo final. Neste caso, a complexidade do impacto final da ordem mais elevada é reduzida a um único parâmetro que deve ser incluído no ICV e ser quantificável em uma escala cardinal (FEHRENBACH et al, 2015).

De acordo com Bare (2010), a avaliação de impacto a nível de ponto médio apoia a análise de decisão com base mais científica. E a nível final, fornece suporte adicional quando um indicador menor ou único é desejado. A Figura 8 apresenta um esquema relacionando os indicadores de pontos médios e pontos finais.



Fonte: Bare (2010)

O ILCD (2010) apresenta um guia onde são apresentados e detalhados os principais métodos aplicados em estudos de ACV mundialmente. Um resumo das principais características e métodos, bem como, sua classificação quanto ao nível de sua abordagem é apresentado no Quadro 3.

**Quadro 3 - Abordagens e métodos para AICV**

		Método	Características Básicas	Referência do método
Abordagens	Midpoint	CML 2002	É o método mais utilizado em abordagens <i>midpoints</i> e apresenta uma ampla lista de categorias de avaliação de impactos.	Guinée et al (2002)
		EDIP 1997	Abordagem típica <i>midpoint</i> , abrange a maioria dos impactos relacionados a emissões, uso de recursos e impactos no meio ambiente de trabalho.	Wenzel et al (1997)
		EDIP 2003	É uma evolução do EDIP 97, entretanto não o substitui. A versão 2003 apresenta um modelo de caracterização diferenciado espacialmente. Recomenda-se que seja usado como uma alternativa para ao EDIP97 em uma caracterização local.	Hauschild e Potting (2005)
		LUCAS	Fornecer uma metodologia para AICV adaptada ao contexto canadense.	Toffoletto et al (2007)
		MEEuP	Permite avaliar produtos que consomem energia e cumprem critérios que os tornam elegíveis para implementação de medidas de concepção ecológica.	Kemna et al (2005)
		TRACI	É um método de avaliação de impacto que representa as condições dos EUA/EPA.	Bare et al (2003)
		USEtox	Fornecer fatores de caracterização para toxicidade humana e ecotoxicidade na AICV. É o método mais completo em termos de requisitos toxicológicos.	Rosenbaum et al (2008)
	Endpoint	Eco-Indicator 99	É o mais utilizado em abordagens <i>endpoints</i> . Realiza caracterização e avaliação dos danos sobre saúde humana, qualidade do ecossistema e recursos; possui normalização e valoração dos impactos.	Goedkoop et al (1998); Goedkoop; Effting; Collignon, (2000)
		Ecopoints	Fornecer caracterização e fatores de ponderação de várias emissões e extrações com base em metas de políticas públicas e objetivas. É sueco	Brand et al (1998), Frischknecht et al (2009).
		EPS	Ajuda designers e desenvolvedores de produtos em apoio à decisão.	Steen (1999); Steen (2001)
		Pegada Ecológica	Fornecer um indicador da área biológica produtiva para fatores de demanda humana.	Wackernagel (2005)
	Midpoint/Endpoint	Impact 2002+	A proposta do método Impact2002+ é a junção dos métodos <i>midpoint</i> com <i>endpoint</i> , a fim de absorver suas respectivas limitações e agrupar os pontos positivos de outros métodos.	Jolliet et al (2003)
		LIME	Desenvolve listas de <i>midpoint</i> (caracterização), <i>endpoint</i> (avaliação de danos) e a ponderação que reflete as condições ambientais do Japão.	Itsubo et al (2004)
		ReCiPe 2016	Os fatores de caracterização do ponto final, relacionados à três áreas proteção, são derivados de fatores de caracterização do ponto médio com um fator de ponto médio constante por categoria de impacto.	Huijbregts et al (2016)

Fonte: Adaptado de ILCD (2010a); ECOINVENT (2010) *apud* Piekarski (2015) e Huijbregts et al (2016)

Além da abordagem, outra característica relevante dos métodos de avaliação diz respeito as categorias de impacto abordadas por ele. Cada método abrange um conjunto específico de categorias de impacto que são utilizadas na AICV. O Quadro 4 (página 44), apresenta uma visão geral das categorias de impactos abordadas por alguns dos métodos disponíveis atualmente.

Um ponto importante a ser observado nos métodos apresentados refere-se ao âmbito geográfico das categorias de impacto. Alguns são direcionados para contextos regionais específicos. Consequentemente, todas as categorias de impacto são aplicáveis regionalmente/localmente, exceto aquelas que são globais por definição, como o aquecimento global e destruição da camada de ozônio (BUENO et al, 2016).

Isso significa que, as categorias de impacto abordadas pelo método, está diretamente relacionada com o seu nível de avaliação (ponto médio ou ponto final) e do contexto de sua criação. Porque as questões abordadas refletem, na maior parte dos casos, as áreas de maior sensibilidade para o contexto ambiental do método (BUENO et al, 2016).

**Quadro 4 - Principais categorias de impactos e modelos de caracterização para ACV**

MÉTODOS DE AICV (MODELOS DE CARACTERIZAÇÃO)	MÉTODOS DE AICV (MODELOS DE CARACTERIZAÇÃO)											
	Mudança Climática	Depleção da Camada de Ozônio	Efeitos Respiratórios (Inorgânicos)	Toxicidade Humana	Radiação Iônica	Ecotoxicidade	Formação de Ozônio Troposférico	Acidificação	Eutrofização Terrestre	Eutrofização Aquática	Ocupação/Usos de Terra	Consumo de recursos abióticos
CED												X
CML2002	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X
Eco-Indicator 99	X	X	X	X	X		X	X	X		X	X
EDIP2003 / EDIP976	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X
EPS 2000	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Impact 2002+	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X
IPCC	X											
LIME	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X
LUCAS	X	X		X		X	X	X	X	X	X	X
MEEuP	X	X	X	X		X	X	X	X			X
ReCiPe	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Swiss Ecoscarycity 07 X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
TRACI	X	X	X	X		X	X	X	X	X		X

Fonte: Adaptada de Matthews, Hendrickson e Matthews (2015)

Por exemplo, LIME, é direcionado exclusivamente ao contexto japonês, TRACI, desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, foi construído sobre as características ambientais da América do Norte, e Swiss Ecoscarcity, desenvolvido para o cenário suíço. Contudo, a maior parte desses métodos foram desenvolvidos no âmbito regional europeu (BUENO et al, 2016).

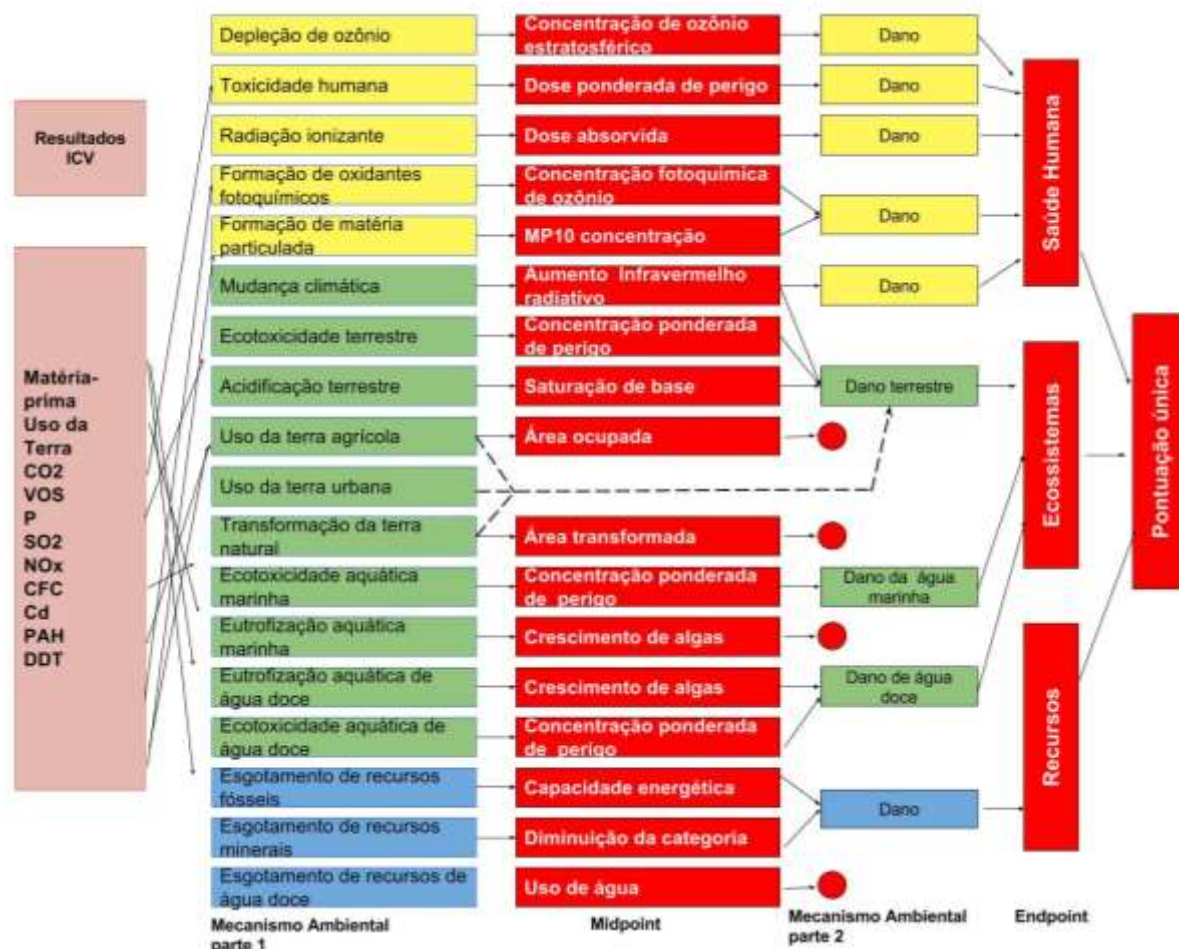
Por esse motivo, as características dos métodos de AICV variam consideravelmente e interferem nos resultados finais da AICV (BUENO et al, 2016). Como solução a estas diferenças de características e a validade regional dos métodos, alguns autores tais como Bueno et al (2016) e Zhou, Chang e Fane (2011) sugerem a aplicação de análise de sensibilidade num processo de comparação de métodos para verificar a variação nos resultados obtidos, e assim, a confiabilidade do método escolhido e dos resultados obtidos no estudo.

Dos métodos citados nos Quadros 3 e 4, Eco-indicator 99, IMPACT2002+ e ReCiPe 2008 são considerados por Piekarski (2015), os três principais métodos discutidos na literatura para *endpoint*. Sendo que Impact 2002+ e ReCiPe 2008 foram desenvolvidos a partir de Eco-indicator 99 (ILCD, 2010a).

O método ReCiPe 2008, por exemplo, integra e harmoniza a abordagem *midpoint* e *endpoint* num quadro consistente. A nível *midpoint* aborda questões ambientais dentro de 18 categorias de impacto, sendo que estas categorias de impacto são convertidas e agregadas em 3 categorias a nível *endpoint*. A estrutura geral do método pode ser observada na Figura 9.

A Figura 9 esboça as relações entre os parâmetros de LCI (à esquerda), indicador de ponto médio (meio) e indicador de ponto final (direita). O método ReCiPe utiliza um mecanismo ambiental como base para a modelação. Um mecanismo ambiental pode ser visto como uma série de efeitos que, em conjunto podem criar um certo grau de dano para, por exemplo, a saúde humana ou para o ecossistema (GOEDKOOOP et al, 2013).

Figura 9 - Relação entre parâmetros de ICV, indicador de ponto médio e indicador de ponto final no método ReCiPe 2008



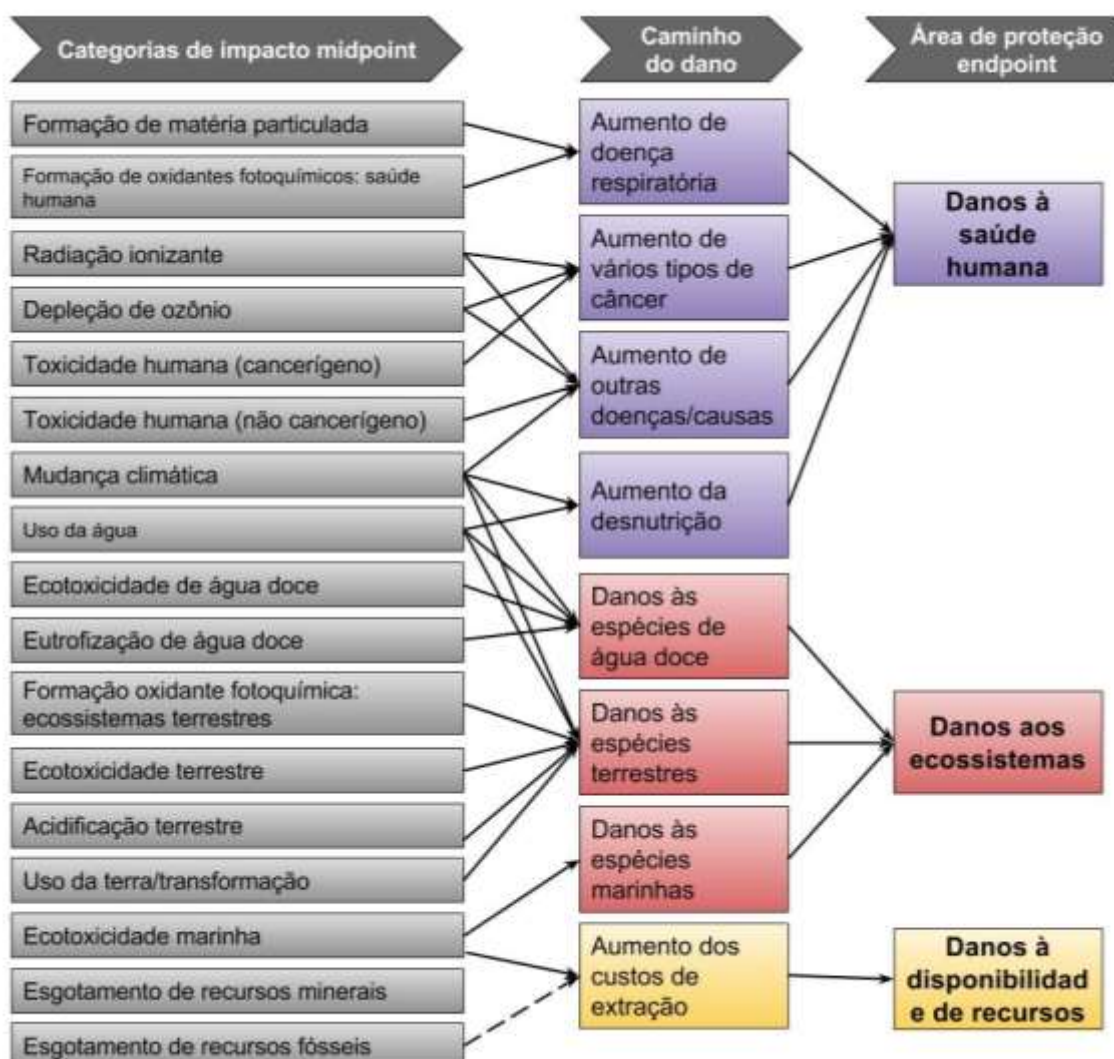
Fonte: Goedkoop et al (2013)

O método ReCiPe 2008 teve recentemente uma atualização para a versão ReCiPe 2016, uma visão geral dos elementos-chave do Método ReCiPe 2016 pode ser observada em Huijbregts et al (2016).

De modo geral, saúde humana, a qualidade do ecossistema e a escassez de recursos são implementadas como três áreas de proteção. Os fatores de caracterização do ponto final, relacionados às áreas de proteção, foram derivados de fatores de caracterização do ponto médio com um fator de ponto médio constante por categoria de impacto, sendo incluídas 17 categorias de impacto intermediária (HUIJBREGTS et al, 2016). Conforme Figura 10.



**Figura 10 - Visão geral das categorias de impacto cobertas pelo método ReCiPe2016 e sua relação com as áreas de proteção**



Fonte: Huijbregts et al (2016)

A atualização do ReCiPe 2016 fornece fatores de caracterização que são representativos da escala global em vez da escala europeia, mantendo a possibilidade de uma série de categorias de impacto para implementar fatores de caracterização em um país e escala continental. Outras melhorias referem-se a uma regionalização de mais categorias de impacto, a partir da extinção de espécies locais e globais e adicionando mais vias de impacto (HUIJBREGTS et al, 2016).

A motivação para o cálculo dos indicadores de ponto final, é que o grande número de indicadores do ponto médio são mais difíceis de interpretar devido possuírem um significado muito abstrato. Já os indicadores ao nível do *endpoint* se

destinam a facilitar a interpretação, uma vez que existem apenas três, e eles têm um significado mais compreensível (GOEDKOOOP et al, 2013).

De acordo com Piekarski (2015), a seleção de um método está relacionada ao objetivo e escopo definido na primeira fase da ACV e depende das categorias de impacto que devem ser analisadas, da abordagem que será dada na análise de impactos (*midpoint* ou *endpoint*), e o fato deste possuir características mais adequadas a realidade do estudo, entre outras. Assim, além da qualidade dos dados, a escolha do método adequado, é um ponto importante para a obtenção de resultados consistentes na ACV.

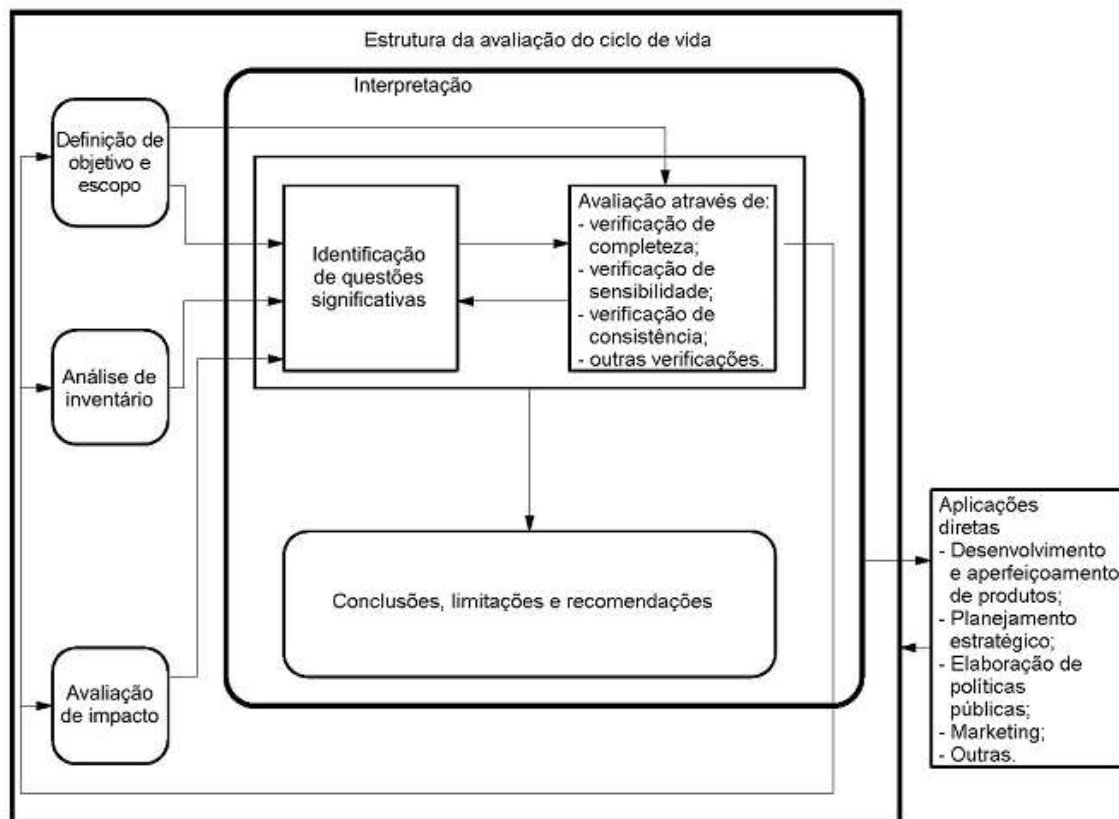
#### 2.1.4 Interpretação

Após a avaliação do impacto, a fase de interpretação orienta os tomadores de decisão, fornecendo uma melhor compreensão das incertezas e suposições relacionadas ao estudo (ZHOU, CHANG e FANE, 2014). Zhou, Chang e Fane (2011) salientam que a fase de interpretação é a chave para tornar os resultados da avaliação de impacto comparável e compreensível, para então, poderem ser utilizados no processo de tomada de decisão.

No entanto, a fase de interpretação não se refere apenas aos resultados da fase de avaliação de impacto. De acordo com Curran (2013), a interpretação inclui a comparação dos dados e resultados encontrados anteriormente no estudo para coloca-los no contexto adequado para a tomada de decisão considerando suas limitações. Matthews, Hendrickson e Matthews (2015), complementam que a fase de interpretação se refere a estudar os resultados do objetivo e escopo, análise de inventário e avaliação de impacto, a fim de tirar conclusões e recomendações que podem ser relatados.

Deste modo, a interpretação é um processo iterativo com as outras três fases da ACV executadas anteriormente. O relacionamento da fase de interpretação com as outras fases da ACV é representado pelas setas indicadas na Figura 11.

**Figura 11 - Relacionamento dos elementos da fase de interpretação com as outras fases da ACV**



Fonte: ABNT (2009b)

A natureza iterativa da interpretação é demonstrada no seguinte contexto. Quando as incertezas dos resultados são elevadas, pode-se voltar e revisar as fases iniciais da ACV, para coletar dados melhores. Se a análise de sensibilidade mostra que algumas decisões são cruciais, pode-se voltar e fazer uma análise mais refinada. Ou então, se os resultados da avaliação de impacto ou os dados de inventário subjacentes estão incompletos ou inaceitáveis para tirar conclusões e fazer recomendações, as etapas anteriores devem ser repetidas até que os resultados possam suportar os objetivos do estudo (CURRAN, 2013).

Conforme também pode ser observado na Figura 9, a ISO 14044 (ABNT, 2009b) recomenda que a fase de interpretação inclua diversos elementos dividido em três etapas, são elas: identificação das questões significativas com base nos resultados das fases de ICV e AICV; avaliação do estudo, considerando verificações de completude, sensibilidade e consistência; e, conclusões, limitações e recomendações.

Discutir quais estágios do ciclo de vida leva à maior parcela de contribuição para os resultados obtidos é uma das tarefas mais importantes da interpretação (MATTHEWS, HENDRICKSON e MATTHEWS, 2015). A determinação das questões significativas é feita mediante estruturação dos resultados obtidos nas fases de ICV ou AICV, levando em consideração a definição de objetivo e escopo, e interativamente com o elemento subsequente de avaliação. O propósito dessa interação é considerar as implicações dos métodos utilizados, os pressupostos adotados etc. nas fases precedentes, tais como regras de alocação, decisões de corte, seleção de categorias de impacto, indicadores de categoria e modelos (ABNT, 2009b).

Na etapa de avaliação o objetivo da verificação de completeza é assegurar que todos os dados e informações relevantes necessários para a interpretação estejam disponíveis e completos. Se alguma informação relevante estiver ausente ou incompleta, deve ser considerada a necessidade de tal informação para satisfazer o objetivo e escopo da ACV (ABNT, 2009b).

Durante esta etapa, a análise de sensibilidade avalia a confiabilidade dos resultados finais e conclusões, determinando de que forma eles são afetados por incertezas nos dados, métodos de alocação, fatores de caracterização dos métodos de impacto, cálculo dos resultados dos indicadores de categoria etc. (ABNT, 2009b; ZHOU, CHANG e FANE, 2011). Deste modo objetivo principal de análise de sensibilidade é ajudar a avaliar se uma conclusão qualitativa é afetada por mudanças quantitativas nos parâmetros do estudo (MATTHEWS, HENDRICKSON e MATTHEWS, 2015).

De acordo com Chehebe (1997) a análise de sensibilidade pode ser realizada recalculando o inventário com mudanças de parâmetros-chaves do ciclo de vida do produto estudado, comparando o resultado com a situação em referência. Isso pode ser feito variando para mais ou para menos os valores de entrada da variável selecionada para a análise. Por exemplo, variar mais ou menos 10% o consumo de óleo combustível de um processo.

Segundo com Curran (2013), a incerteza na forma de variabilidade pode ser atribuída a erros ou flutuações nos dados. Assim, a análise de incerteza é o processo de determinar a variabilidade dos dados e o impacto sobre os resultados finais. A incerteza se aplica aos indicadores de avaliação, tanto os dados do

inventário e do impacto e pode ter um grande impacto sobre a forma como os resultados são utilizados na tomada de decisões.

Já a verificação de consistência tem como objetivo determinar se os pressupostos, métodos e dados são consistentes com o objetivo e escopo. Por fim, a última etapa da interpretação do ciclo de vida tem como objetivo chegar a conclusões, identificar as limitações e fazer recomendações para o público-alvo da ACV (ABNT, 2009b).

Diante do exposto, de acordo com Matthews, Hendrickson e Matthews (2015), o propósito geral da fase de interpretação é melhorar a qualidade do estudo realizado, especialmente, a qualidade das conclusões escritas e recomendações que surgem a partir do estudo quantitativo do ciclo de vida do produto.

Após a realização da ACV seguindo a metodologia apresentada, obtém-se o perfil ambiental do produto em estudo, que inclui uma série de informações que podem ser utilizadas para tomada de decisão e na elaboração de estratégias de sustentabilidade durante o desenvolvimento de produtos. Assim, o próximo capítulo aborda sobre o desenvolvimento de produto.

### 3 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO

Este capítulo apresenta os principais fundamentos teóricos que envolvem o tema desenvolvimento de produtos. Num primeiro momento é feita uma abordagem geral sobre o processo desenvolvimento de produto (PDP), e posteriormente é apresentado a abordagem do desenvolvimento de produto sustentável com ênfase na integração de aspectos ambientais no PDP.

Devido às características do mercado, atualmente o desenvolvimento de produto é um processo de negócio cada vez mais importante para as empresas se manterem competitivas. Isso ocorre principalmente devido a crescente internacionalização dos mercados, aumento da variedade de produtos e redução do ciclo de vida destes no mercado (ROZENFELD et al, 2006).

De acordo com Rozenfeld et al (2006, p.3), desenvolver produtos consiste em um conjunto de atividades por meio das quais busca-se, definir as especificações de projeto de um produto bem como de seu processo de produção, considerando as possibilidades e restrições tecnológicas, as necessidades do mercado e as estratégias competitivas e de produto da empresa.

Outra definição de desenvolvimento de produto é apresentada pela ISO/TR 14062, que o define como sendo um “processo de elaboração de uma ideia, desde o planejamento até o lançamento comercial e análise crítica do produto, no qual estratégias do negócio, considerações de marketing, métodos de pesquisa e aspectos do projeto são usados para conduzir o produto até sua utilização prática. Isto inclui melhorias ou modificações nos processos e produtos existentes” (ABNT, 2004, p.2).

O desenvolvimento de produtos é uma atividade interdisciplinar que envolve diferentes áreas do conhecimento, por exemplo, marketing, design e produção (TINGSTRÖM, SWANSTRÖM e KARLSSON, 2006). De acordo com Cheng (2000), sob a ótica da engenharia de produção, o desenvolvimento de produto nas empresas ocorre em dois eixos distintos, o vertical e o horizontal. O primeiro representa o planejamento, onde em um extremo encontra-se o estratégico e no outro o operacional. O segundo eixo, trata do ciclo de desenvolvimento do produto. Sendo que a relação entre estes dois eixos constitui o processo de desenvolvimento em si (SUAREZ, 2009).

Grande parte dos projetos de desenvolvimento de produtos tem início em “ideias vindas da necessidade de um cliente em resolver um determinado problema, uma necessidade de marketing por um produto competitivo, uma nova tecnologia que poderia romper o mercado, uma redução de preço de um produto existente no mercado ou uma ideia inovadora” (DINSMORE e BREWIN, 2014, p.460).

Diante dessas definições, os princípios específicos para o desenvolvimento de produto incluem: compreender os requisitos do cliente, assegurar os canais de distribuição, analisar custo e metas de preço e construir diferenciais competitivos (SMITH, 2014).

De acordo com Smith (2014), a maior parte das falhas em projetos de desenvolvimento de produtos é resultante de equívocos nos requisitos. De modo geral, os índices de falhas no desenvolvimento de novos produtos chegam em torno de 85% a 95%, sendo que problemas com requisitos representam 50% a 60% dos princípios citados anteriormente.

Outro ponto importante a ser considerado é a necessidade de ter uma compreensão clara e realista dos diferenciais competitivos do produto ou dos negócios. Existem uma variedade de modelos de estratégias e competências que poderiam ser implementados na empresa, contudo, independente do modelo adotado, este deve ser incorporado na cultura da equipe de desenvolvimento (SMITH, 2014).

As primeiras abordagens para o processo de desenvolvimento de produto são conhecidas como desenvolvimento sequencial de produto. Nessas abordagens as informações sobre o produto passam de uma área funcional para outra (marketing, engenharia/design, manufatura, teste, produção) seguindo uma ordem lógica, regida por meio de uma sequência linear de atividades (SYAN, 1994).

Nestas abordagens, são necessárias diversas atividades, envolvendo conhecimento de diversas áreas e agrupadas em estágios bem definidos, onde a execução de cada estágio tem de ser finalizada para que o seguinte seja iniciado. Conseqüentemente, uma mudança necessária em uma fase posterior causaria atrasos e custos adicionais nos estágios seguintes (SYAN, 1994).

Devido a suas limitações, de acordo com Rozenfeld et al (2006, p. 10), essas abordagens de desenvolvimento sequencial são colocadas em xeque, “quando se consideram as novas abordagens com as quais as empresas de ponta tem direcionado suas atividades de desenvolvimento de produtos”. As novas

abordagens adotadas pelas empresas consideram o PDP como um processo que integra as áreas da empresa e sua cadeia de suprimentos. Um esquema diferenciando estas duas abordagens pode ser visualizado na Figura 12.

**Figura 12 - Abordagens para o desenvolvimento de produto**



Fonte: Rozenfeld et al (2006)

Essas novas abordagens procuram superar a visão sequencial das atividades de desenvolvimento de produtos, propondo a integração entre elas baseada em times multifuncionais liderados por um líder de projeto e no paralelismo na execução de atividades, rompendo, assim, com as abordagens parciais focadas na divisão funcional. Ainda, propõem alinhamento entre as atividades de planejamento estratégico com as de desenvolvimento de produtos (GUELERE FILHO, 2009).

Nesta perspectiva, fica evidente a necessidade de estruturar um processo específico que reúna as atividades a serem planejadas e gerenciadas (ROZENFELD et al, 2006). Um modelo para o processo de desenvolvimento de produto pode ajudar a materializar as políticas e estratégias gerenciais e racionalizar o fluxo de informações e de documentos durante o desenvolvimento de produtos, contribuindo com a integração das diferentes áreas da empresa (ROMEIRO FILHO et al, 2011).

Grande parte do desempenho desse processo, está relacionado ao modelo geral adotado para sua gestão. O desenvolvimento de produto tem a missão de favorecer a competitividade da empresa, no entanto, para que isso ocorra, deve ser um processo eficiente e eficaz. Deste modo, é fundamental que a empresa adote um



modelo de referência que se adeque a suas necessidades, oriente a estruturação e gestão desse processo (ROZENFELD et al, 2006).

De acordo com Dinsmore e Brewin (2014), as empresas que apresentam “melhores práticas e melhores resultados no desenvolvimento de novos produtos tem implantado um processo formal para servir como guia para o desenvolvimento de seus produtos”.

Na literatura é apresentado uma variedade de modelos que foram desenvolvidos com o intuito de auxiliar a gestão do PDP nas organizações. Dentre eles citam-se o funil de desenvolvimento proposto por Clark e Wheelwright (1993), o modelo “total *design*” de Pugh (1991), o modelo *Stage Gate* de Cooper (1993), a engenharia simultânea de Clausing (1994) e Prasad (1996), e mais recentemente o modelo unificado de Rozenfeld et al (2006).

Dentre os vários modelos propostos pelos autores, vale ressaltar que alguns são limitados apenas ao processo de projeto, incluindo a fase de concepção e materialização do produto propriamente dita e, outros consideram o PDP como um processo de negócio que vai além da simples especificação técnica do produto (CODINHOTO, 2003; ROMEIRO FILHO et al, 2011). Essa representação não indica que um processo é melhor ou pior que outro, caberá a equipe de desenvolvimento definir o modelo mais adequado para a situação (ROMEIRO FILHO et al, 2011).

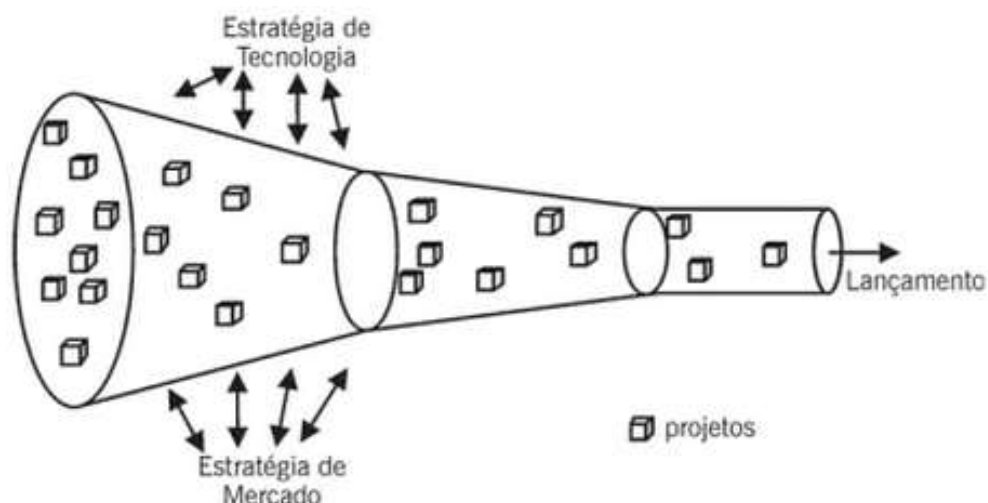
De acordo com Romeiro Filho et al (2011), embora cada um dos modelos desenvolvidos traga algumas diferenças, no geral são apresentados de forma semelhantes. Alguns desses modelos são oferecidos por áreas que tem como objeto de estudo o PDP. Segundo os autores, dentre os modelos que trazem maior afinidade com a engenharia de produção citam-se os modelos propostos por Clark e Wheewright (1993) e Rozenfeld et al (2006).

O modelo de Clark e Wheewright (1993), conhecido como funil de desenvolvimento (*Development Funnel*), foi o primeiro a adotar a abordagem do PDP como um processo de negócio, pois até então a visão das áreas funcionais era predominante. Deste modo, fica mais evidente a relação entre as atividades de desenvolvimento, e a interação entre elas, sendo o PDP apresentado de forma estruturada (GUELERE FILHO, 2009).

A estruturação das atividades de desenvolvimento de produto, permitiu gerar e revisar alternativas, observar as sequências de decisões críticas e avaliar a natureza da tomada de decisão. A forma de funil, conforme apresentado na Figura

13, indica que existe um processo de tomada de decisão que reduz o número de opções disponíveis na atividade de projeto (ROMEIRO FILHO et al, 2011).

**Figura 13 - Funil de desenvolvimento de produtos**



**Fonte: Clark e Wheewright (1993 apud ROMEIRO FILHO et al, 2011)**

Neste modelo, as ideias iniciais estão concentradas na boca do funil, e avançam para o desenvolvimento a medida em que são selecionadas. Esse processo é impulsionado pelo mercado e pela tecnologia. As ideias são geradas pelos competidores ou puxadas pela demanda de atendimento a determinado mercado. As tecnologias impulsionam as ideias em função da sua disponibilidade e viabilidade do ponto de vista comercial. Assim, uma vez decidido, as ideias são transformadas em projetos a serem desenvolvidos e avançam na medida em que são executadas as atividades relacionadas ao desenvolvimento. Neste processo, os dados técnicos e mercadológicos, são considerados a partir de três dimensões: custo do produto, tempo para desenvolvimento do produto e desempenho do produto (ROMEIRO FILHO et al, 2011).

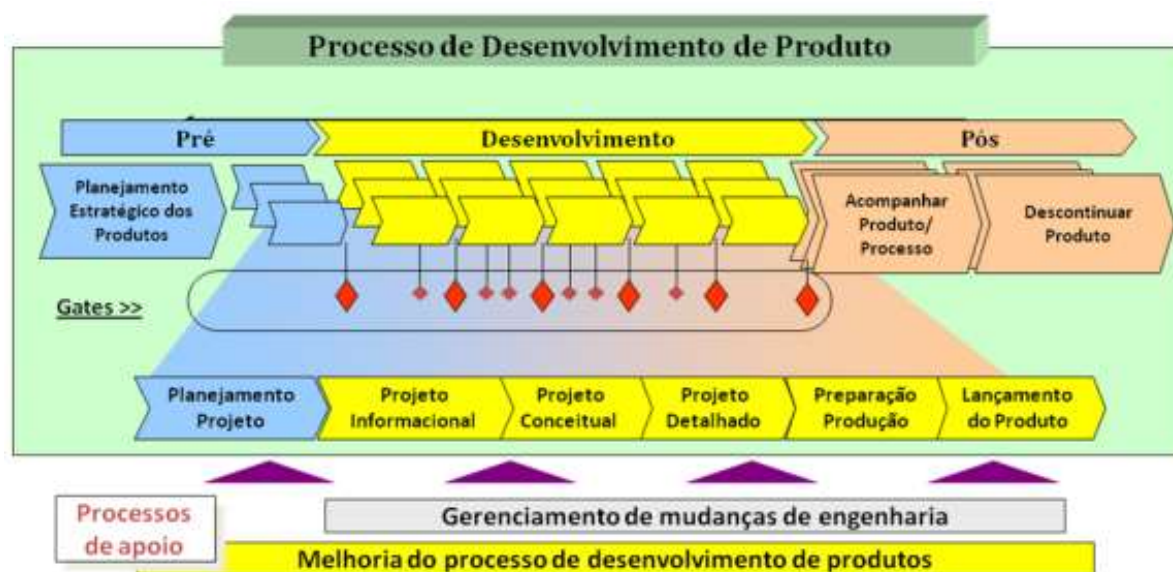
O modelo de referência proposto por Rozenfeld et al (2006), também conhecido como modelo unificado, conduz a uma visão do desenvolvimento de produto alicerçado no conceito de processo de negócio.

É voltado principalmente para empresas de manufatura de bens de consumo duráveis e de capital, no entanto, por ser um modelo genérico, pode ser adaptado para outras empresas e ser utilizado como base para definição de um modelo específico, adaptado a realidade de cada empresa (HONDA, 2014).

Neste modelo os autores ampliam o escopo do desenvolvimento com novas fases anteriores e posteriores aos modelos conhecidos até então. Além disso, apresentam uma compilação de modelos desenvolvidos anteriormente, tais como Wheelwright e Clark (1993), Roozenburg e Eekels (1996), Pahl e Beitz (1996) e Peter et al (1999), incorporando as melhores práticas apresentadas por eles (SUAREZ, 2009).

O modelo unificado é apresentado de forma abrangente e detalhada sendo composto por três macrofases, pré-desenvolvimento, desenvolvimento e pós-desenvolvimento, subdivididas em fases e atividades, conforme pode ser visualizado na Figura 14. Cada macrofase e fase será descrita a seguir tendo como base o exposto pelos referidos autores.

**Figura 14 - Modelo unificado**



**Fonte: Rozenfeld et al (2006)**

A macrofase de pré-desenvolvimento: contempla o planejamento estratégico de produtos e projetos de produtos. Nesta macrofase é feita a ligação entre o objetivo da empresa e os produtos desenvolvidos. Neste momento é realizada a definição do projeto de desenvolvimento, por meio de atividades que levam em consideração a estratégia da empresa, as restrições de recursos e conhecimentos e informações sobre os consumidores, e as tendências tecnológicas e mercadológicas.

De modo geral, esta macrofase tem início com o desdobramento do resultado do planejamento estratégico em um portfólio ou carteira de projetos e é finalizada com a declaração de escopo e o plano de projeto inicial de um dos produtos previstos, o qual será desenvolvido nas etapas posteriores.

Segundo os autores, a importância do pré-desenvolvimento, está em contribuir com o foco dos projetos prioritários definidos pela empresa, o uso eficiente dos recursos de desenvolvimento, o início mais rápido e eficiente e por prover critérios claros para avaliação dos projetos em andamento, além de permitir que os riscos sejam avaliados, minimizando os problemas que possam surgir durante sua realização.

Assim, os principais objetivos desta macrofase são: garantir uma decisão adequada sobre o portfólio de produtos e projetos e, garantir uma definição clara e um consenso sobre o objetivo final do projeto, evitando assim, um desvio em relação ao papel de cada produto dentro do portfólio da empresa.

A macrofase de desenvolvimento dá destaque aos aspectos tecnológicos correspondentes à definição do produto em si, suas características e seu modo de produção. Envolvendo, portanto, as atividades dos projetos definidos e aprovados na fase anterior. Neste momento cada produto é gerenciado como um projeto, obtendo-se no final os documentos de especificações do produto, que depois de preparados são aprovados (RUY, 2011).

Na macrofase de pós-desenvolvimento é feita uma avaliação de todo o ciclo de vida do produto no mercado, bem como o acompanhamento do produto na produção e no mercado e a retirada sistemática do produto do mercado. Nesta macrofase as experiências contrapostas ao que foi planejado anteriormente servem de referência para futuros desenvolvimentos (RUY, 2011).

Estas três macrofases englobam nove fases: planejamento estratégico dos produtos, planejamento do projeto, projeto informacional, projeto conceitual, projeto detalhado, preparação da produção do produto, lançamento do produto, acompanhar produto/processo e descontinuar o produto do mercado.

A conclusão de cada fase é determinada pela entrega de um conjunto de resultados que determinam um novo patamar de evolução do PDP. A transição de fase (*gate*) é um processo de revisão ampla e minuciosa das saídas da fase que avalia a qualidade dos resultados obtidos, a situação do projeto diante do

planejamento, o impacto dos problemas encontrados e a relevância do projeto diante do portfólio completo (HONDA, 2014).

Neste modelo as fases são apresentadas de forma sequencial, porém em projetos distintos, para facilitar a apresentação, no entanto, algumas atividades de uma fase podem ser realizadas dentro de outra fase.

A fase de planejamento estratégico dos produtos é a primeira fase do modelo e inicia a macrofase de pré-desenvolvimento. Seu objetivo é obter um plano que contenha o portfólio de produtos da empresa, ou seja, uma lista delineando a linha de produtos da empresa e os projetos que serão desenvolvidos, de forma a contribuir para que as metas estratégicas do negócio sejam atingidas.

Esse portfólio deve conter uma primeira descrição das características e metas para início do desenvolvimento do produto, lançamento e retirada do mercado. Ou então, para os produtos que já estão em comercialização, deve conter uma previsão de retirada.

Nesta fase as informações contidas no plano estratégico de negócio servem de entrada para as tarefas serem realizadas, começando pela definição do escopo da revisão do plano estratégico do negócio e terminando com o início do planejamento de um produto do portfólio. Sendo o portfólio de produtos e a minuta de projeto as saídas da fase (SUAREZ, 2009).

A fase de planejamento de projeto finaliza a macrofase de pré-desenvolvimento. Nesta fase é desenvolvido um plano macro de um dos projetos contidos no portfólio e aprovado na fase anterior. De modo geral, as atividades para desenvolver esse plano, devem compreender os esforços para identificar a melhor forma de integrar todas as atividades da fase e os recursos para que o projeto siga em frente com o mínimo de erros.

O resultado final é o plano de projeto, que se for considerado viável, será utilizado como guia para a próxima macrofase de desenvolvimento. O plano de projeto é um documento que reúne as informações necessárias para a execução do projeto, tais como escopo do projeto, conceito do produto, previsões das atividades e sua duração, prazos, orçamento, definição do pessoal responsável, recursos necessários para a realização do projeto, especificação dos critérios e procedimentos para avaliação da qualidade, indicação das possíveis normas que precisam ser atendidas, análise de riscos e indicadores de desempenho.

Como esse plano tem ligação com a macrofase de desenvolvimento, deve considerar o escopo e as características das cinco fases de desenvolvimento do produto. Assim, deve considerar as especificações e metas para o projeto informacional, as concepções do produto para o projeto conceitual, as especificações finais para o projeto detalhado, os requisitos para a liberação da produção e o lançamento do produto. Este plano de projeto será posteriormente atualizado no início de cada fase.

A fase de projeto informacional é a primeira fase da macrofase de desenvolvimento. Tem como objetivo desenvolver um conjunto de informações do produto, chamado de especificações-meta. Essas especificações servirão para orientar a geração de soluções e fornecerão a base sobre a qual os critérios de avaliação e de tomada de decisão serão montados para ser utilizados nas etapas posteriores do processo de desenvolvimento.

Esta fase tem foco nos requisitos do cliente, onde as necessidades dos clientes são interpretadas para atingir um desenvolvimento mais efetivo (SUAREZ, 2009).

O projeto conceitual refere-se a busca, criação, representação e seleção de soluções para o problema do projeto. Soluções do projeto são geradas e estudadas em detalhes para se encontrar a melhor solução que atenda as especificações-meta concebidas na fase anterior.

A busca por soluções existentes pode ser realizada mediante observação de produtos concorrentes ou similares descritos em artigos, catálogos, base de dados de patentes, dentre outros, ou ainda por *benchmarking*. O processo de criação de soluções é auxiliado por métodos de criatividade e é direcionado pelas necessidades, requisitos e especificações de projeto do produto. A representação, muitas vezes realizada em conjunto com a criação, pode ser realizada por meio de desenhos, croquis e esquemas. Por último, a seleção é realizada tendo como base métodos apropriados que levam em consideração as necessidades e requisitos previamente definidos.

No início da fase o produto é descrito de uma forma abstrata. Essa abstração é realizada definindo-se o produto em termos de suas funções. No final da fase a concepção obtida é uma descrição aproximada da forma de um produto, seu princípio de funcionamento e tecnologia, constituindo numa descrição concisa de como o produto irá satisfazer as necessidades dos clientes.

Na fase de projeto detalhado, a concepção do produto resultante da fase anterior será transformada nas especificações finais. Nesta fase, o produto ganha suas características específicas, detalhamento de sua forma, seus componentes, e sua construção. O produto é preparado para ser encaminhado para o desenvolvimento de seu processo produtivo (SUAREZ, 2009).

A atividade central dessa fase, é a criação e detalhamento dos sistemas, subsistemas e componentes (SSCs), que corresponde ao ciclo de detalhamento. A partir dessa atividade são acionadas as atividades do ciclo de aquisição, que corresponde a decisão de fazer ou comprar SSCs e desenvolver fornecedores e, do ciclo de otimização, que inclui a avaliação dos SSCs, a configuração e documentação do produto e processo, otimizando-os quando necessário.

A atividade de planejamento do processo de fabricação e montagem e o projeto de recursos, ocorre em paralelo com a realização dos ciclos mencionados. Juntamente com essas atividades, ocorrem a criação do material de suporte do produto e do projeto de embalagem, assim como, é criado o plano de fim de vida do produto. Então, as especificações finais do produto, são utilizadas para o monitoramento da viabilidade econômico-financeira. Diante disso, como resultados da fase obtém-se o protótipo funcional, o projeto de recursos e a plano de fim de vida do produto.

A fase de preparação da produção é a fase onde são tratadas as atividades da cadeia de suprimentos do ponto de vista interno, tendo como objetivo a obtenção do produto. Engloba, portanto, a produção do lote piloto, a definição dos processos de produção e manutenção.

O objetivo da fase é assegurar que a cadeia de suprimentos, incluindo a empresa e fornecedores, consiga produzir o produto na quantidade definida na declaração de escopo do projeto, com a mesma qualidade do protótipo e que também atendam aos requisitos dos clientes.

Esta fase tem início com a aquisição dos recursos de fabricação especificados anteriormente. Após aprovação desses recursos, os lotes pilotos serão produzidos. No caso de aprovação o resultado da fase será a homologação do processo de fabricação interno. Neste momento o produto é certificado levando em consideração as regulamentações do mercado e as exigências específicas do cliente.

A fase de lançamento do produto, é a última fase que constitui a macrofase de desenvolvimento. Envolve as atividades da cadeia de suprimentos relacionadas à colocação do produto no mercado, incluindo o desenho dos processos de venda e distribuição, atendimento ao cliente e assistência técnica e as campanhas de marketing.

O objetivo desta fase é colocar o produto no mercado visando garantir sua aceitação pelos clientes em potencial. Neste momento, os clientes têm o primeiro contato com o produto sendo possível avaliar os primeiros resultados do produto no mercado. Concluído o lançamento do produto o acompanhamento passa a ser feito pela macrofase de pós-desenvolvimento.

Na fase de acompanhamento do produto e processo são realizadas avaliações referentes aos resultados esperados ao longo do projeto, em relação ao comportamento do mercado, resultados financeiros e de reação da concorrência (SUAREZ, 2009).

Esta fase tem como objetivo garantir o acompanhamento do desempenho do produto na produção e no mercado, para identificar necessidades ou oportunidades de melhorias e garantir que os impactos causados aos consumidores, empresa e meio ambiente pela retirada do produto seja o menor possível.

A última fase, descontinuidade do produto acontece simultaneamente a fase de acompanhamento do produto e processo. O início efetivo da descontinuidade do produto acontece no momento da primeira devolução por um cliente. Até então as atividades da fase estiveram voltadas a preparação para a descontinuidade.

A descontinuidade ocorre quando o produto não apresenta mais importância e vantagens do ponto de vista econômico ou estratégico. Isso se dá mediante três eventos: o recebimento do produto de volta, a descontinuidade da produção e a finalização do suporte ao produto.

Para apoiar o processo de desenvolvimento do produto, o modelo proposto por Rozenfeld et al (2006), conta com dois processos de apoio. Quando um problema ou oportunidade de melhoria surgir e estiver relacionada com o produto e/ou se processo de fabricação é acionado o processo de apoio Gerenciamento de Mudança de Engenharia. Quanto a melhoria estiver relacionada com o PDP, o processo de apoio acionado é o de Melhoria Incremental.



### 3.1 INTEGRAÇÃO DE ASPECTOS AMBIENTAIS NO PDP

Os impactos causados pelas atividades industriais atingiram hoje níveis que tornam a sustentabilidade um desafio para todas as disciplinas, incluindo a engenharia (GREMYR et al, 2014). O papel do engenheiro relacionado ao desenvolvimento de produto gira em torno de sistematizar o processo e encontrar formas de descrever os aspectos ambientais da seleção de materiais e formas generalizadas de lidar com a informação ambiental. Esse papel recebeu destaque a partir do início de 1990 com o *boom* de desenvolvimento sustentável que levou a discussão das preocupações ambientais em relação ao desenvolvimento de produtos e manufatura (BAUMANN et al, 2002; GREMYR et al, 2014).

Com isso surgiu uma nova abordagem sustentável para o desenvolvimento de produtos. Tradicionalmente, os três objetivos fundamentais utilizados para a tomada de decisão em um processo de desenvolvimento são o desempenho do produto, o custo do produto e o custo de desenvolvimento (KAEBERNICK, KARA e SUN, 2003).

Durante as últimas décadas, um quarto objetivo foi adicionado, a velocidade de desenvolvimento, causado pela necessidade de encurtar o tempo de lançamento do produto. Posteriormente, em vista do desenvolvimento sustentável, viu-se a necessidade da adição de um quinto objetivo, o desempenho ambiental (KAEBERNICK, KARA e SUN, 2003).

Deste modo, o desenvolvimento de produto sustentável pode ser definido como um processo de desenvolvimento de produtos (PDP) em que as preocupações de sustentabilidade são explicitamente integradas para minimizar os impactos sobre o ambiente e sobre a saúde humana e animal (GENÇ e BENEDETTO, 2015; HUANG e WU, 2010).

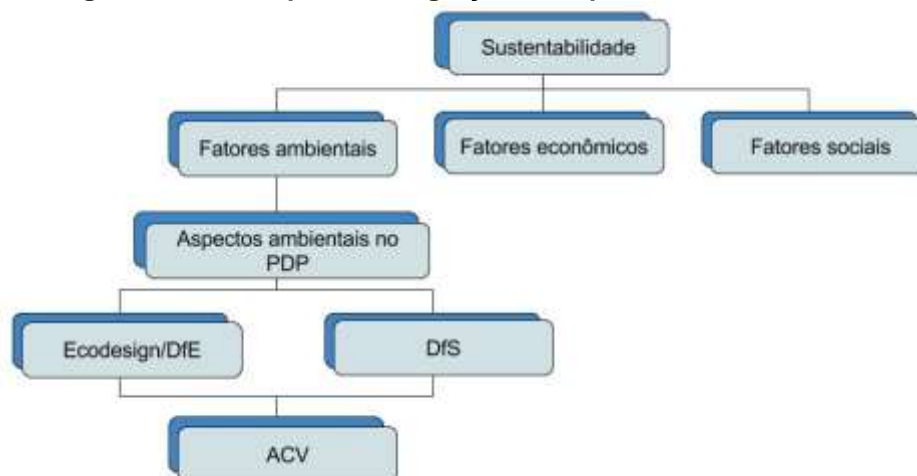
Gmeling e Seuring (2014) argumentam que o desenvolvimento de produtos sustentáveis visa satisfazer as necessidades, com o objetivo de reduzir os impactos ambientais e sociais de produtos, proporcionando valor econômico para a empresa.

Deste modo, de acordo com Genç e Benedetto (2015), o desenvolvimento de produto sustentável não é um processo radicalmente diferente do PDP convencional, mas envolve preocupações de sustentabilidade, além de outros fatores necessários para o sucesso do produto no mercado.

Atualmente para se alcançar a sustentabilidade econômica e ambiental o processo de desenvolvimento de produtos sustentáveis se tornou um foco estratégico chave. Neste contexto, a organização que incorpora sustentabilidade e preocupações ambientais ao processo de desenvolvimento de produto pode extrair vantagem adicional (GREMYR et al, 2014).

A fim de tentar incorporar a sustentabilidade no PDP, sobretudo os aspectos ambientais, algumas abordagens como ecodesign ou projeto para o meio ambiente (*Design for Environment - DfE*) e design para a sustentabilidade (*Design for Sustainability - DfS*), foram desenvolvidas ao longo do tempo. Estas ferramentas visam minimizar o impacto ambiental através do projeto do produto. A Figura 15 apresenta uma hierarquia para estas abordagens segundo a perspectiva ambiental da sustentabilidade, onde os aspectos ambientais são integrados ao PDP considerando as abordagens citadas, e a ACV aparece como ferramenta que possibilita essa integração, foco deste estudo.

**Figura 15 - Hierarquia da integração de aspectos ambientais no PDP**



**Fonte: Autor**

Os principais fundamentos destas abordagens e da integração de aspectos ambientais no projeto e desenvolvimento de produto são apresentados nos tópicos a seguir.

### 3.1.1 Ecodesign

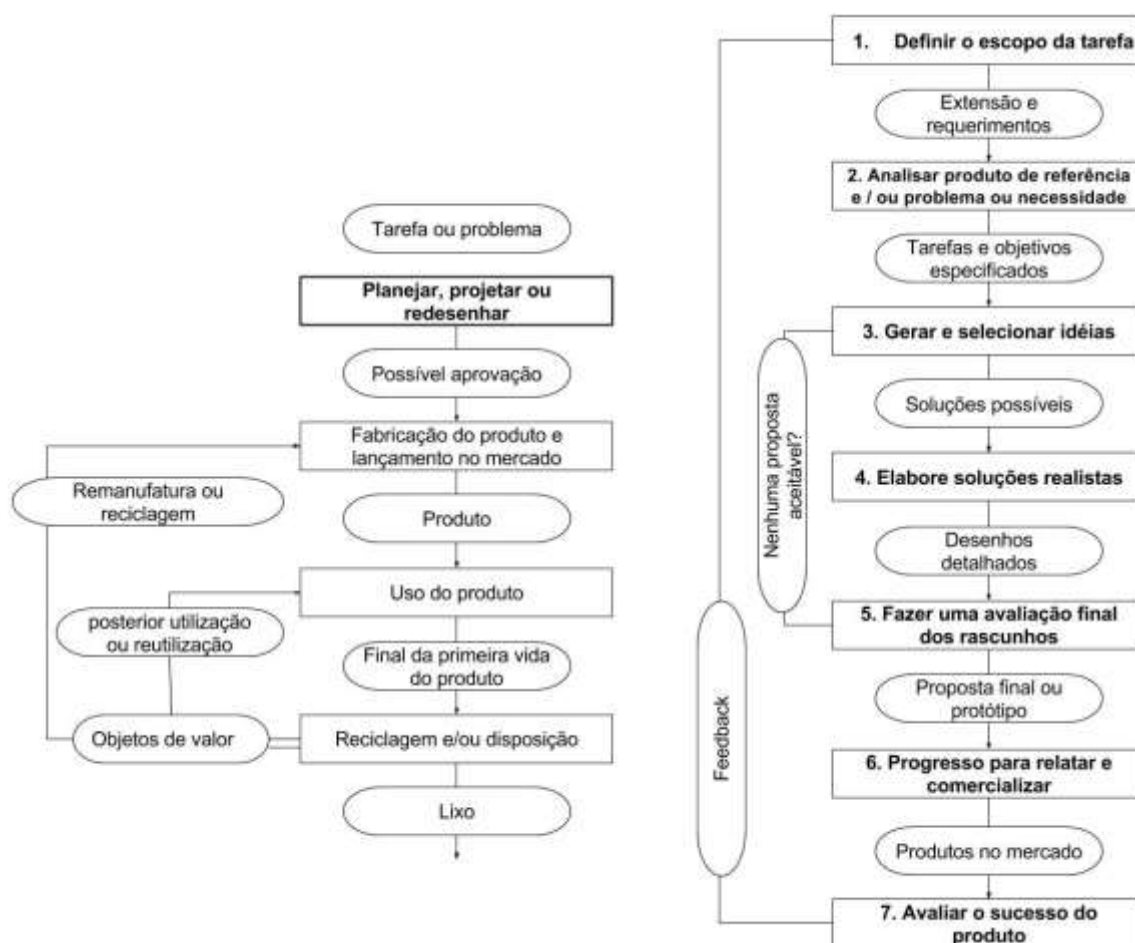
Ecodesign e Projeto para o Meio Ambiente (DfE), são tratados como sinônimos na literatura (ABNT, 2014; TELENKO et al, 2016), e consistem em uma

das iniciativas de sustentabilidade visando melhorar a forma como as empresas desenvolvem produtos do ponto de vista ambiental (PIGOSSO, MCALOONE e ROZENFELD, 2015). Pode ser formalmente definido como uma abordagem que integra aspectos ambientais no desenvolvimento de produtos e seus processos relacionados para minimizar os impactos ambientais durante o ciclo de vida do produto (PIGOSSO, MCALOONE e ROZENFELD, 2015).

Deste modo, o ecodesign se preocupa com o impacto do projeto desde a preparação e fabricação de materiais até o uso e gerenciamento de fim de vida de um produto. Considerando uma série de impactos ambientais associados a vários recursos consumidos no ciclo de vida de um produto, incluindo material, água e energia (SEOW, 2016).

Um exemplo de um processo sistemático de ecodesign, considerando o ciclo de vida, é apresentado na Figura 16.

**Figura 16 - O processo de ecodesign em relação ao ciclo de vida**



Fonte: Tischer (2001)

Este fluxograma deve ser considerado como uma estrutura flexível. Na prática, esse processo raramente será encontrado precisamente nesta forma. As fases individuais serão dadas de acordo com o tipo de empresa, a tarefa a ser cumprida, o orçamento e o tempo. O fluxograma apresenta setas que indicam que uma ou várias etapas podem ser repetidas no caso de uma fase específica, ou todo o processo, produzir resultados insatisfatórios (TISCHER, 2001). Os sete passos resumidos no lado direito da Figura 15 é apresentado com mais detalhes no Quadro 5.

**Quadro 5 - Tarefas do processo de ecodesign**

<b>Processo de ecodesign</b>
<p><b>Passo 1: Identifique a tarefa e avalie o quão radical é a abordagem</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Analise a tarefa e seu escopo.</li> <li>- Definir os fatores internos e externos que influenciam o projeto planejado.</li> <li>- Especificar recursos e responsabilidades.</li> <li>- Formular um resumo para o desenvolvimento de produtos.</li> </ul>
<p><b>Passo 2: Analise um produto de referência e a tarefa ou problema dado</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Identificar as mais importantes possibilidades ambientais e potenciais melhorias, bem como outros fatores que influenciam o produto sob o planejamento e o sistema do produto.</li> <li>- Definir os alvos funcionais para os produtos, os principais impactos ambientais esperados.</li> <li>- Integrar conhecimento nas especificações do produto.</li> </ul>
<p><b>Passo 3: Ideias genéricas e selecionadas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Desenvolva novas soluções que integrem considerações ambientais e sociais e satisfaçam especificações e requerimentos de produtos.</li> <li>- Tente também pensar sobre inovações radicais.</li> <li>- Avalie as ideias e identifique os mais promissores para desenvolverem ainda mais.</li> </ul>
<p><b>Passo 4: Elaborar soluções realistas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Elabore as soluções selecionadas como as mais promissoras de acordo com as prioridades definidas específicas do projeto, apropriadas às estratégias globais dadas e integrando os objetivos e as necessidades ambientais e sociais estabelecidos.</li> <li>- Coletar informações necessárias ao longo do ciclo de vida do produto e cooperar com fornecedores, departamento de compras, atores de fim de vida, etc.</li> </ul>
<p><b>Passo 5: Faça uma avaliação final do rascunho e realize testes e prototipagem</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Avalie o produto em relação aos requisitos ambientais e sociais e viabilidade técnica, comercialização, etc.</li> <li>- Alterar e adaptar, se necessário, e tomar uma decisão final para realizar ou voltar para a geração de ideias e fase de design.</li> </ul>
<p><b>Passo 6: Progresso para realização e introdução no mercado</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- A fabricação de planos produz o novo produto e a introdução no mercado.</li> <li>- Determine se o grupo alvo é suficientemente consciente do meio ambiente para apreciar os benefícios ecológicos do novo produto.</li> <li>- Decidir se os benefícios ambientais do produto podem ser usados em publicidade e outras comunicações de marketing.</li> <li>- Use a rotulagem ambiental do produto, desenvolva sistemas de logística e sistemas de recuperação de produtos adequados ao meio ambiente quando apropriado.</li> </ul>
<p><b>Passo 7: Mantenha os produtos e serviços em análise após sua introdução no mercado</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Use comentários e críticas de clientes e outras partes interessadas como um recurso para atividades de planejamento de produtos atuais e futuras.</li> <li>- Monitore se as qualidades planejadas do produto relacionadas ao meio ambiente se revelam válidas na prática (por exemplo, a economia de energia esperada durante o uso realmente é viável?).</li> <li>- Estabelecer medidas para garantir a fidelidade dos clientes e manter o produto.</li> </ul>

Fonte: Adaptado de Tischer (2001)

De acordo com Lacasa, Santolaya e Biedermann (2016) e Pigosso, McAloone e Rozenfeld, (2015), ecodesign é uma abordagem proativa do gerenciamento ambiental e sua metodologia foi desenvolvida para considerar critérios ambientais no processo de design do produto sem comprometer outros critérios e especificações como operação, desempenho, funcionalidade, qualidade e custo.

Como parte da abordagem do ecodesign, uma série de questões ambientais (por exemplo, consumo de recursos, eliminação de fim de vida, gerenciamento de resíduos, reciclagem, reutilização, uso de materiais tóxicos e perigosos) associados a um produto devem ser consideradas na fase de projeto (SEOW et al, 2016).

Quando se trata do ecodesign, de acordo com Vezzoli (2014), é útil ter em mente as seguintes estratégias que podem direcionar o desenvolvimento do produto para redução do impacto ambiental:

- Minimizar o consumo de recursos: o projeto é destinado a reduzir o uso de materiais e energia de um determinado produto nas etapas gerais do ciclo de vida ou, mais precisamente, de uma determinada unidade funcional oferecida por esse tipo de produto;

- Selecionar recursos não tóxicos e nocivos: o projeto é destinado a selecionar materiais e fontes de energia não tóxicos e nocivos nas etapas gerais do ciclo de vida;

- Selecionar recursos renováveis/biocompatíveis: o projeto é destinado a selecionar materiais renováveis/biocompatíveis e fontes de energia;

- Otimização da vida útil dos produtos: o projeto é destinado a prolongar o tempo de vida do produto e componente e/ou ao uso intensivo do produto e componente;

- Melhorar a vida útil dos materiais: o projeto é destinado a valorizar o material de produtos sucateados, neste caso, em vez de acabar em aterros, estes materiais podem ser reprocessados para obter novas matérias-primas secundárias (recicladas ou compostadas), ou incinerados para recuperar seu conteúdo energético (quando aplicável);

- Design para desmontagem: o projeto é destinado a fácil separação de peças (para manutenção, reparação, atualização ou reutilização) ou materiais incompatíveis (aguardando a reciclagem ou incineração para recuperação de

energia). Esta estratégia é útil na otimização da vida útil dos produtos e na melhoria da vida útil dos materiais.

Telenko et al (2016) mediante um levantamento na literatura apresentaram um conjunto de estratégias e diretrizes para ecodesign, categorizados e sintetizados na forma de um mapa mental, que complementam as estratégias de Vezzoli (2014). Conforme pode ser observado, na Figura 17, DfE é Colocado como o objetivo geral no centro do mapa mental, e as diretrizes que cumprem esse objetivo são colocadas como sub-ramos.

**Figura 17 - Mapa mental para ecodesign**



**Fonte: Adaptado de Telenko et al (2016)**

A Figura 17 representa uma parte do mapa mental final que emergiu do estudo da literatura, uma compilação completa de 76 diretrizes DfE agrupadas em 6 estratégias é apresentada no Quadro 6.

### Quadro 6 - Diretrizes para ecodesign

<p>(A) Maximizar a disponibilidade de recursos</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Especificar recursos renováveis e abundantes</li> <li>2. Especificar recursos recicláveis ou reciclados</li> <li>3. Materiais recicláveis e virgens, onde o material virgem é necessário</li> <li>4. Utilizar componentes comuns e remanufaturados em todos os modelos</li> <li>5. Especificar materiais e fixadores compatíveis para reciclagem</li> <li>6. Minimizar a variedade de materiais no produto e seus subconjuntos</li> </ol> <p>(B) Maximizar entradas e saídas saudáveis</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>7. Contém poluentes e materiais perigosos para reutilização ou processamento</li> <li>8. Especificar materiais ambientalmente amigáveis</li> <li>9. Criar saídas biodegradáveis</li> <li>10. Especificar recursos com baixas emissões</li> <li>11. Incluir etiquetas e instruções para o manuseio seguro de materiais tóxicos</li> <li>12. Concentre poluentes e materiais perigosos para fácil remoção e tratamento</li> <li>13. Recuperar emissões e saídas</li> </ol> <p>(C) Minimizar o uso de recursos nas fases de produção e transporte</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>14. Substitua as funções e os apelos da embalagem através do formulário do produto</li> <li>15. Empregue dobradura, aninhamento ou desmontagem para enviar e armazenar produtos em um estado compacto</li> <li>16. Aplicar técnicas e materiais estruturais que minimizem o volume total de material</li> <li>17. Especificar materiais e componentes leves</li> <li>18. Estrutura o produto para evitar rejeições e minimizar o desperdício de material na produção</li> <li>19. Minimizar o número de componentes</li> <li>20. Especificar materiais com produção e agricultura de baixa intensidade</li> <li>21. Especificar materiais que não requerem tratamento de superfície adicional de tintas</li> <li>22. Explorar propriedades intrínsecas dos materiais</li> <li>23. Especificar processos de produção limpa dentro da cadeia de suprimentos</li> <li>24. Use os poucos passos de fabricação possíveis</li> <li>25. Origem de fornecedores com baixos impactos de transporte</li> </ol> <p>(D) Minimizar o consumo de recursos durante a operação</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>26. Implementar suprimentos reutilizáveis</li> <li>27. Incorporar incentivos cronometrados e notáveis para a operação</li> <li>28. Minimizar a perda de energia e material</li> <li>29. Minimizar o volume e o peso dos materiais aos quais a energia é transferida</li> <li>30. Otimizar a taxa e a duração do uso de recursos para a tarefa</li> <li>31. Fornecer quantidades discretas de recursos</li> <li>32. Fornecer capacidades de sintonização automáticas ou manuais</li> <li>33. Indique o estado atual dos processos</li> <li>34. Crie módulos separados para tarefas com diferentes soluções ideais</li> <li>35. Apoiar a tomada de decisões complexas pelo usuário</li> <li>36. Especificar os melhores componentes de eficiência da classe</li> <li>37. Incorporar operação parcial para desativar subsistemas que não estão em uso</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>38. Minimizar o arranque e o tempo de inatividade</li> <li>39. Intercorrer fluxos de energia e materiais disponíveis</li> <li>40. Maximizar a eficiência do sistema para uma gama de condições do mundo real</li> <li>41. Crie sistemas compartilhados ou de serviços que se desmaterializem</li> <li>42. Harmonize a operação com as atividades diárias dos usuários dentro do produto e seu ambiente</li> <li>43. Permitir que os usuários desliguem os sistemas em parte ou em conjunto</li> <li>44. Revelar a quantidade de recursos que está sendo consumido</li> <li>45. Incorporar controles intuitivos para recursos de economia de recursos</li> <li>46. Incorporar recursos que impedem ou desencorajem o desperdício de materiais pelo usuário</li> <li>47. Reinicie automaticamente o produto em sua configuração mais eficiente</li> <li>48. Empregar transformação ou multifuncionalidade</li> </ol> <p>(E) Maximizar a vida técnica e estética do produto e dos componentes</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>49. Reutilizar componentes com recursos intensivos</li> <li>50. Planejar melhorias contínuas de eficiência</li> <li>51. Melhorar a estética e a funcionalidade para garantir que a vida estética seja igual à vida técnica</li> <li>52. Minimizar a manutenção necessária</li> <li>53. Proteja os produtos da sujeira, corrosão e desgaste</li> <li>54. Indicar através do produto como as peças são mantidas</li> <li>55. Minimizar o número de ferramentas de serviço e inspeção</li> <li>56. Facilitar o teste de componentes</li> <li>57. Permitir a repetição do desmontagem e montagem</li> <li>58. Aumentar o valor com a idade</li> <li>59. Comunique durabilidade e confiabilidade através do formulário</li> </ol> <p>(F) Facilitar a atualização e reutilização de componentes</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>60. Faça o desgaste detectável para reparação e atualização</li> <li>61. Indique através do produto como deve ser aberto</li> <li>62. Certifique-se de que as juntas e fixadores sejam facilmente acessíveis</li> <li>63. Facilitar a atualização e reutilização de componentes que experimentam mudanças rápidas</li> <li>64. Manter a estabilidade e a colocação da peça durante a desmontagem / montagem</li> <li>65. Minimizar o número de ferramentas necessárias para desmontagem / montagem</li> <li>66. Minimizar a desmontagem destrutiva e seus efeitos</li> <li>67. Certifique-se de que as peças reutilizáveis podem ser limpas facilmente e sem danos</li> <li>68. Faça os materiais incompatíveis facilmente separados</li> <li>69. Faça as interfaces dos componentes simples e reversivelmente separáveis</li> <li>70. Organizar em módulos hierárquicos por protocolo estético, de reparo e de fim de vida</li> <li>71. Implementar plataformas, módulos e componentes reutilizáveis / permutáveis</li> <li>72. Especificar adesivos, etiquetas, revestimentos de superfície e pigmentos que sejam compatíveis com a limpeza durante e após a vida útil</li> <li>73. Empregar uma direção de desmontagem / montagem sem reorientação</li> <li>74. Minimizar o número e o comprimento das operações de destacamento</li> <li>75. Marcar materiais em moldes com tipos e protocolo de reutilização</li> <li>76. Use uma estrutura superficial ou aberta para facilitar o acesso a subconjuntos</li> </ol>
--	--

Fonte: Adaptado de Telenko et al (2016)

De modo geral o ecodesign geralmente se refere aos diferentes aspectos que podem ter um grande impacto ambiental. Esses aspectos incluem a seleção de materiais (usando substâncias não tóxicas e materiais recicláveis), a escolha dos processos de produção (em relação aos resíduos e emissões) e a determinação da demanda de energia dos produtos durante a fase de uso, bem como o tratamento de fim de vida (isto é, reparação e reciclagem) (KIURSKI et al, 2017).

De acordo com Kiurski et al (2017) o ecodesign pode desempenhar um papel estratégico em uma mudança para produtos mais refinados que também podem contribuir para a mudança comum para o consumo e a produção sustentáveis. Para isso deve ser feito em conjunto com a fase de planejamento do produto. No entanto, a implementação bem-sucedida do ecodesign requer estruturas organizacionais e de gestão adequadas.

### 3.1.2 Design para Sustentabilidade

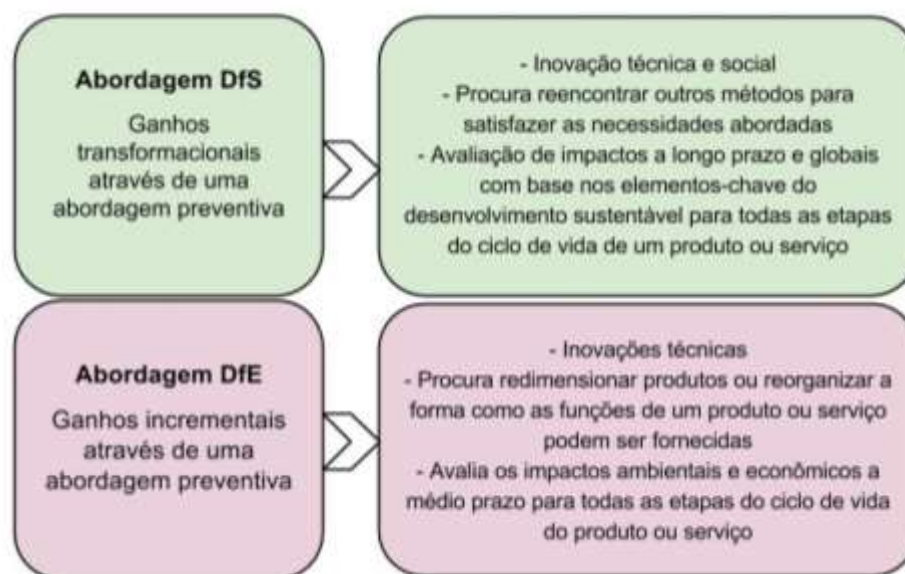
O Design para a Sustentabilidade (DfS) vai além da abordagem estabelecida de ecodesign ou DfE, integrando questões de contexto social e qualidade de vida, além de aspectos ambientais, funcionais e econômicos (SPANGENBERG, 2013). Deste modo, o DfS é um novo conceito que cresceu com o conceito de DfX, onde "X" pode representar reciclabilidade, manufaturabilidade, durabilidade e assim por diante, abordando todas as facetas da sustentabilidade (SAPUAN, 2017).

Neste contexto o DfS avalia os impactos a longo prazo e globais com base nos elementos chave do desenvolvimento sustentável em vez de avaliar apenas o curto e médio prazo. Abrange conceitos mais amplos, incluindo sistemas sustentáveis de serviços de produtos, inovações de sistemas e outros esforços baseados no ciclo de vida. Em outras palavras, a abordagem DfS considera preocupações ambientais, sociais e econômicas como elemento primário da estratégia de inovação de produtos de longo prazo (CRUL e DIEHL, 2006; SAPUAN, 2017).

Uma comparação entre DfS e DfE pode ser observada na Figura 18.



**Figura 18 - Comparação de DfS e DfE**



**Fonte: Adaptado de Spangenberg, Fuad-Luke e Blincoe (2010)**

De acordo com CRUL e DIEHL (2006) o DfS redesign, que visa redesenhar um produto existente feito por uma empresa do ponto de vista da sustentabilidade é de particular interesse para as economias em desenvolvimento, porque esse tipo incremental de inovação de produtos envolve menores riscos e investimentos, segue um processo estruturado e previsível e é reconhecido como econômico e comercial tão importante como abordagens mais radicais.

Segundo os autores, como o foco do DfS Redesign é um produto existente, as condições de mercado e de fabricação específicas para o produto já são conhecidas. Seu potencial de melhoria pode ser determinado a partir de informações facilmente acessadas, como comentários do departamento de vendas, experiências de usuários, testes e investigações de mercado. Além disso, as instalações de produção existentes são geralmente adequadas para a fabricação do produto redesenhado e, portanto, os custos de investimento provavelmente permanecerão dentro de limites razoáveis. Os riscos relacionados ao esforço de redesign são menores em comparação com abordagens de inovação DfS mais radicais.

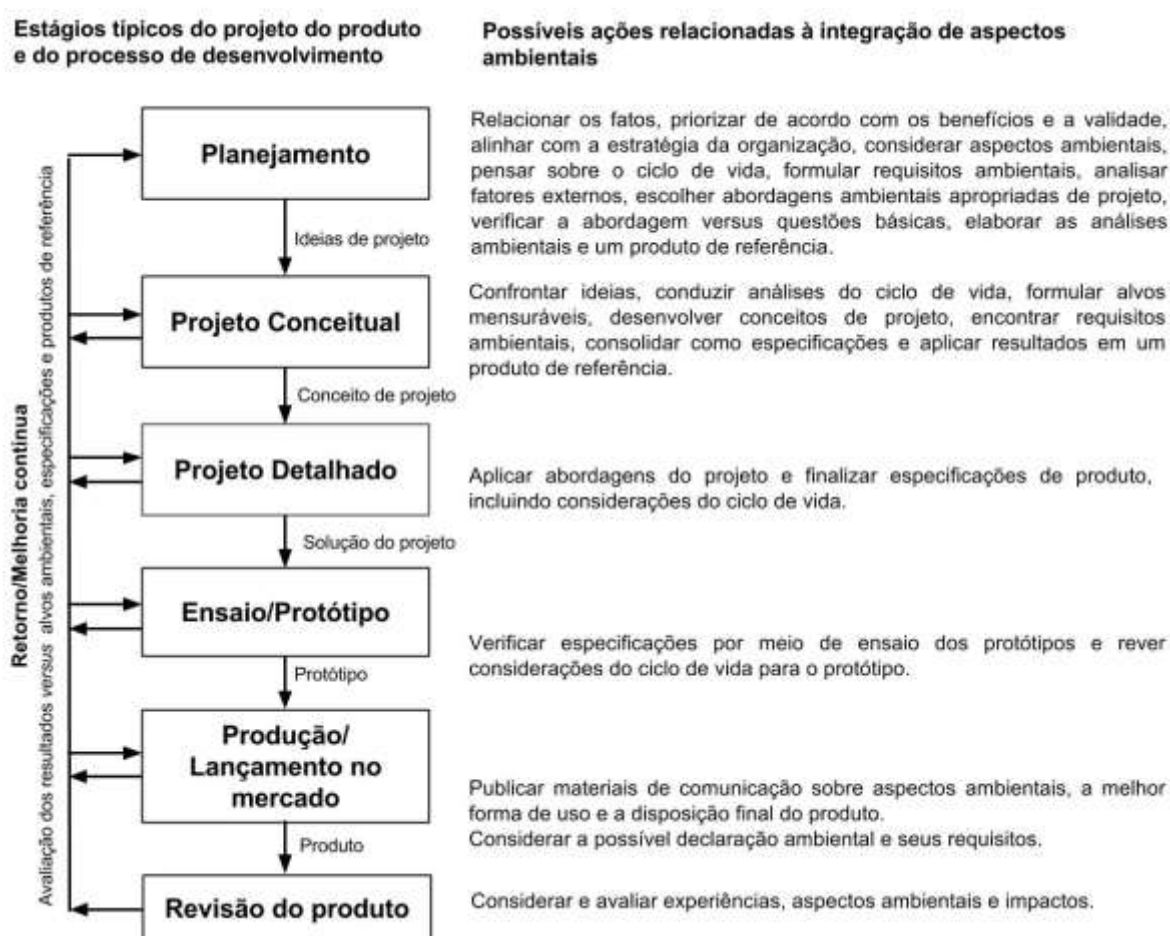
### 3.1.3 ISO/TR 14062

A ISO/TR 14062 descreve conceitos, processos e práticas de orientação relacionados com a integração de aspectos ambientais no projeto e desenvolvimento

de produtos. Essa integração é realizada considerando seis fases do PDP comumente adotadas pelas organizações: a) planejamento, b) projeto conceitual, c) projeto detalhado, d) ensaio/protótipo, e) produção/lançamento no mercado e, f) revisão do produto.

Para cada fase a ISO/TR 14062 apresenta algumas possíveis ações para integração de aspectos ambientais. Um resumo ilustrativo destas ações para cada fase de desenvolvimento pode ser observado na Figura 19.

**Figura 19 - Exemplo de um modelo genérico de integração de aspectos ambientais no projeto do produto e no processo de desenvolvimento**



Fonte: ABNT (2004)

De acordo com Goepp, Rose e Caillaud (2014), as orientações apresentadas são úteis para qualquer pessoa interessada ou envolvida no projeto e desenvolvimento de produtos ecológicos. Elas descrevem, desde o início do projeto até o lançamento no mercado, fornece alguns exemplos, bem como saídas e ferramentas para serem usadas nas diferentes fases do desenvolvimento.

A seguir é apresentada uma descrição geral das seis fases de desenvolvimento de acordo com a ISO/TR 14062 (ABNT, 2004).

a) Planejamento

O planejamento é fundamental para a integração de aspectos ambientais no desenvolvimento do produto. Nesta fase, é realizada uma revisão do projeto para consideração de aspectos ambientais. Para isso, é importante considerar todo o ciclo de vida do produto.

De modo geral no planejamento do produto, os requisitos legais e de clientes são analisados e os aspectos ambientais são identificados. Os resultados são convertidos em requisitos do produto para estabelecer metas de melhora ambiental (LEE et al, 2016).

Deste modo, de acordo com Baran (2016), a fase de planejamento está relacionada com a geração de ideias que levam em conta as necessidades do mercado, a própria empresa e as especificações de requisitos e pressupostos relevantes.

A formulação de requisitos do produto, segundo a ISO/TR 14062, também leva em consideração o tempo e o orçamento disponível, além de fatores externos que influenciarão o produto planejado e internos que influenciarão na tomada de decisão dentro do desenvolvimento do produto. O Quadro 7, apresenta os principais fatores a serem considerados nesta fase.

**Quadro 7 - Fatores externos e internos para formulação de requisitos do produto**

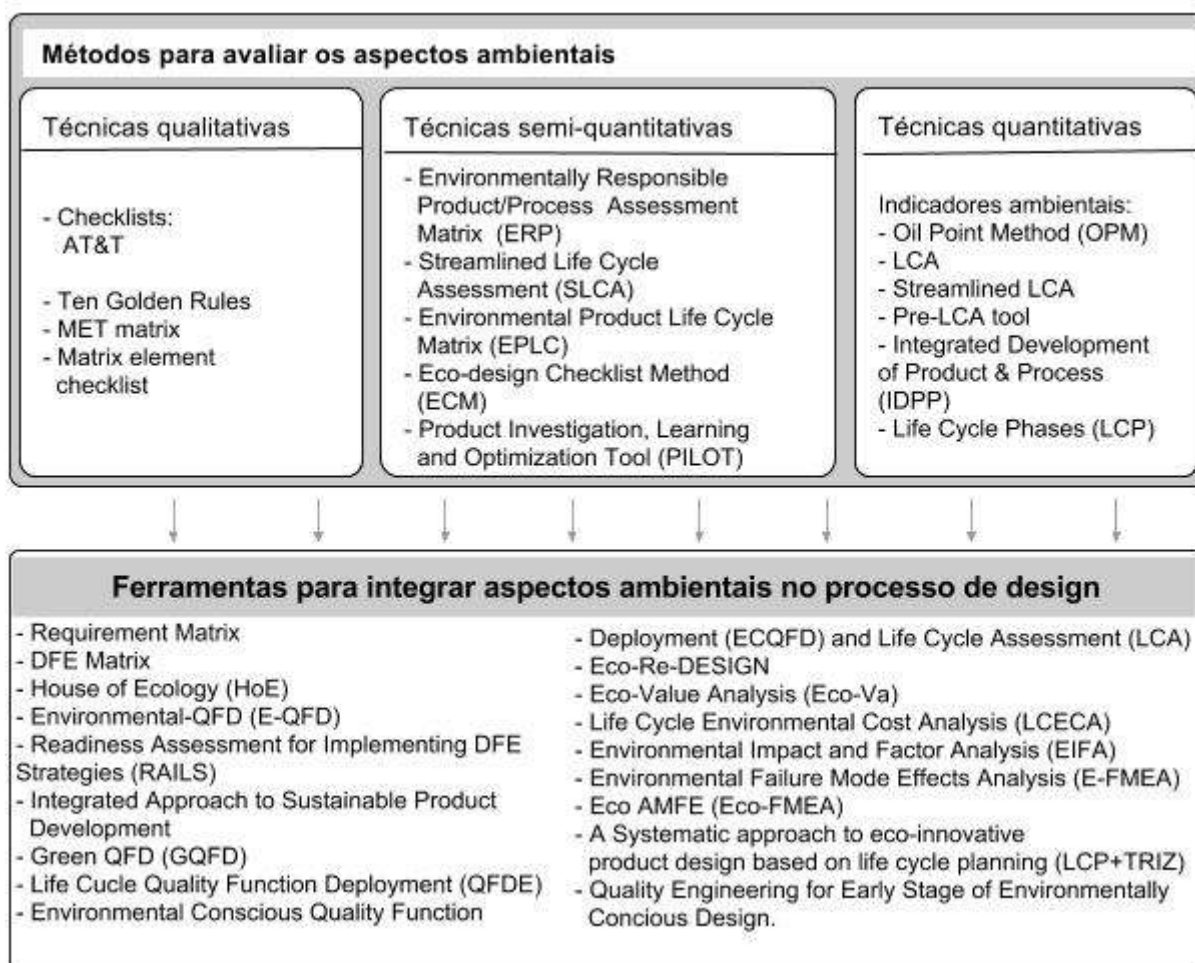
<b>Fatores externos</b>	
Necessidades e expectativas do cliente	Análise básica da função a ser fornecida pelo produto-desempenho técnico, funcionalidade, conveniência, qualidade, preço, mudanças no comportamento do consumidor, consciência ambiental dos clientes, etc.
Situação de mercado	Imagem da organização e seus produtos, rentabilidade.
Concorrentes	Perfil dos produtos que competem no mercado, incluindo critérios ambientais.
Requisitos ambientais	Eficiência e minimização no uso de recursos, proteção da saúde humana e do meio ambiente, tendo em vista substâncias perigosas, emissões e resíduos ambientalmente relevantes.
Expectativas do público	Consciência sobre aspectos relevantes, por parte do público em geral, imagem da organização e de seus produtos.
Exigências legais	O desenvolvimento atual e futuro, por exemplo, política ambiental nacional e internacional, regulamentos, legislação relativa ao retorno do produto, à responsabilidade do produtor, ao gerenciamento de resíduos, etc.
Sistema do produto	Sistema no qual o futuro produto desempenhará sua função
<b>Fatores internos</b>	

Posicionamento do produto dentro da linha de montagem da organização  
 Conhecimento e especialização da equipe de funcionários  
 Disponibilidade de especialistas externos  
 Recursos financeiros  
 Necessidade/disponibilidade de propriedade intelectual relevante  
 Disponibilidade dos subconjuntos, dos componentes e dos materiais (incluindo materiais recuperados e materiais de fontes renováveis)  
 Tecnologia de produção, capacitação para, ou necessidade de novos processos  
 Capacidade de produção, localização  
 Área de influência da organização  
 Disponibilidade de dados  
 Capacitação dos fornecedores

Fonte: Adaptado de ABNT (2004)

Diferentes ferramentas foram desenvolvidas com objetivo de avaliar os requisitos ambientais dos produtos ou facilitar sua integração no processo de desenvolvimento. A Figura 20 apresenta alguns exemplos de acordo com sua classificação qualitativa, semi-quantitativa e quantitativa.

Figura 20 - Ferramentas para integração de aspectos ambientais no desenvolvimento de produto



Fonte: Bovea e Pérez-Belis (2012)

Estas ferramentas podem auxiliar na “análise do desempenho ambiental, tomada de decisão, promoção de criatividade e na integração com negócios e fatores econômicos” (ABNT, 2004, p. 18).

Como saídas desta fase tem-se ideias qualificadas do projeto e uma lista de requisitos que servirão de base para as próximas fases (ABNT, 2004).

#### b) Projeto conceitual

Na fase de projeto conceitual os requisitos para o produto são identificados a partir das reflexões feitas na fase anterior e nas abordagens selecionadas. As ideias surgidas na fase de planejamento dão indicações referentes aos objetivos ambientais do produto, com foco em seus aspectos ambientais (ABNT, 2004).

De acordo com Lee et al (2016) nesta fase são estabelecidos critérios de projeto específicos para atingir as metas ambientais.

Neste momento do desenvolvimento, os problemas a resolver são identificados, a funcionalidade, assim como as tarefas e variáveis são definidas. Além disso, o problema das limitações técnicas e econômicas também são discutidos (BARAN, 2016; LEWANDOWSKA e KURCZEWSKI, 2010).

Para auxiliar no processo conceitual, algumas técnicas gerais podem ser empregadas, como: técnicas de criatividade, por exemplo, *brainstorming*; métodos de inovação; análise de sistemas, como as técnicas de cenários. Além destas, podem ser aplicadas algumas ferramentas específicas para a integração de aspectos ambientais, tais como: diretrizes e listas de verificação, referentes ao impacto ambiental de materiais; manuais, como as listas de compatibilidade, regras genéricas de projetos que descrevem os pontos fortes e fracos dos conceitos utilizados; e, base de dados de materiais. Ou ainda, uma Avaliação do Ciclo de Vida, pode ser empregada para obter uma visão geral dos aspectos significativos no ciclo de vida do produto (ABNT, 2004).

O resultado desta fase é a seleção de um ou mais conceitos possíveis que melhor atendam a todos os requisitos. Geralmente uma especificação do projeto do produto é criada como preparação para a próxima fase (ABNT, 2004).

#### c) Projeto detalhado

Na fase de projeto detalhado os conceitos são desenvolvidos para atender as especificações do produto. Neste momento, as prioridades específicas do projeto, são usadas para refinar a solução do projeto e os detalhes do produto. Estas

prioridades podem ser alinhadas e integradas aos requisitos e objetivos ambientais da organização (ABNT, 2004).

De acordo com Goepp, Rose e Caillaud (2014) a principal atividade desta fase é aplicar abordagens e ferramentas de ecodesign, a fim de detalhar tecnologicamente os conceitos propostos durante o projeto conceitual. O ponto principal é cumprir todos os requisitos e especificações relacionados ao aspecto ambiental. Se as variáveis não atenderem as especificações, é necessário modificá-las de forma iterativa.

Os conceitos podem ser desenvolvidos considerando algumas abordagens, como as apresentadas no Quadro 8. Estas abordagens podem gerar alternativas de projeto.

**Quadro 8 - Abordagens de projeto visando objetivos ambientais estratégicos**

<b>Abordagens de projeto visando objetivos ambientais estratégicos</b>	
Melhoria da eficiência do material	Verificar se o impacto ambiental pode ser reduzido, por exemplo com a minimização do uso de materiais, uso de materiais de baixo impacto, uso de materiais renováveis e/ou reuso de materiais.
Melhoria da eficiência energética	Verificar se o impacto ambiental pode ser reduzido, por exemplo, por meio da redução de consumo de energia, uso de fontes de energia de baixo impacto ou uso de energia de fontes renováveis.
Uso criterioso do solo	Particularmente considerado quando o sistema de produção requer uso da infraestrutura ou de materiais local.
Projeto para uso e produção mais limpa	Utilização de técnicas de produção mais limpa, evitando-se o uso de material perigoso e adotando-se uma perspectiva de sistema global, para evitar decisões baseadas em único critério ambiental.
Projeto para a durabilidade	Consideração da longevidade do produto, sua facilidade de reparação e manutenção, consideração das melhorias ambientais que emergem das novas tecnologias.
Projeto para otimização da funcionalidade	Consideração de oportunidades para funções múltiplas, modularidade, otimização e controle automatizado, comparação do desempenho ambiental destes produtos com o daqueles elaborados para função específica.
Projeto para reuso, recuperação e reciclagem	Consideração de oportunidades para facilitar a desmontagem, redução da complexidade material e o uso de materiais recicláveis, componentes e materiais nos produtos futuros.
Evitar materiais e substâncias potencialmente perigosas no produto	Verificação de aspectos ambientais, de saúde e segurança, menor impacto de materiais e transportes.

Fonte: Adaptado de ABNT (2004)

Na fase de projeto detalhado a aparência do produto e suas partes são inicialmente determinadas e a documentação de fabricação e montagem é feita (BARAN, 2016).

d) Ensaio/protótipo

Esta fase é uma oportunidade para verificar o projeto detalhado, confrontando-o com os objetivos ambientais e demais especificações (ABNT, 2004). A principal atividade desta etapa é verificar a conformidade do produto projetado para a especificação, de modo que um design detalhado específico pode ser selecionado (GOEPP, ROSE e CAILLAUD, 2014).

Neste estágio, os aspectos ambientais do produto podem ser avaliados seguindo duas linhas. Sendo a primeira para verificar se a implementação realista de requisitos ambientais foi alcançada e, a segunda, se necessário, para permitir adaptações e mudanças no projeto (ABNT, 2004).

Uma revisão dos resultados da avaliação do ciclo de vida pode ser realizada nesta fase (BARAN, 2016). De acordo com a ISO/TR 14062, essa avaliação pode ser útil para melhorar o detalhamento do projeto, melhorar processos de produção e indicar a necessidade de mudança de fornecedores.

e) Produção/lançamento no mercado

Esta fase diz respeito à produção propriamente dita do produto ecologicamente concebido e ao seu lançamento no mercado (GOEPP, ROSE e CAILLAUD, 2014). Neste momento os aspectos ambientais relevantes dos produtos podem fornecer uma base para uma abordagem de marketing. Sendo que uma apresentação e comunicação sobre as características e os benefícios dos produtos podem ser utilizadas para incentivar a procura e compra do produto (ABNT, 2004).

De acordo com Baran (2016) esta fase leva em consideração possíveis declarações ambientais.

f) Revisão do produto

O processo de desenvolvimento é iterativo, assim, uma avaliação dos resultados pode ser realizada tendo como foco a melhoria continua.

Uma revisão após o lançamento pode ser empregada para avaliar se as expectativas em relação ao produto foram atendidas. Neste momento pode ser considerado uma revisão dos aspectos ambientais dos produtos (ABNT, 2004).

De acordo com Goepp, Rose e Caillaud (2014), as diretrizes apresentadas pela ISO 14062 são apenas recomendações e indicações para a ação com um aspecto do desenvolvimento sustentável em cada uma das seis etapas. Sendo assim, a forma de um relatório técnico oferece uma lista de opções para a seleção e não se trata de um processo de concepção ecológica em si.

A literatura sobre PDP convencional está repleta de variáveis e modelos que têm sido propostos e empiricamente testados. Porém, a questão de como as preocupações de sustentabilidade, sobretudo os aspectos ambientais, devem ser integrados ainda não foram resolvidas (GENÇ e BENEDETTO, 2015),

Tendo isso em vista, a seguir é apresentada uma abordagem da utilização da ACV no processo de desenvolvimento de produto.



## 4 ACV E O PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO

Este capítulo apresenta uma contextualização da ACV no processo de desenvolvimento de produto, trazendo uma investigação de teorias e práticas relevantes encontradas na literatura. Investigação essa, realizada conforme descrito no item 5.1 deste estudo.

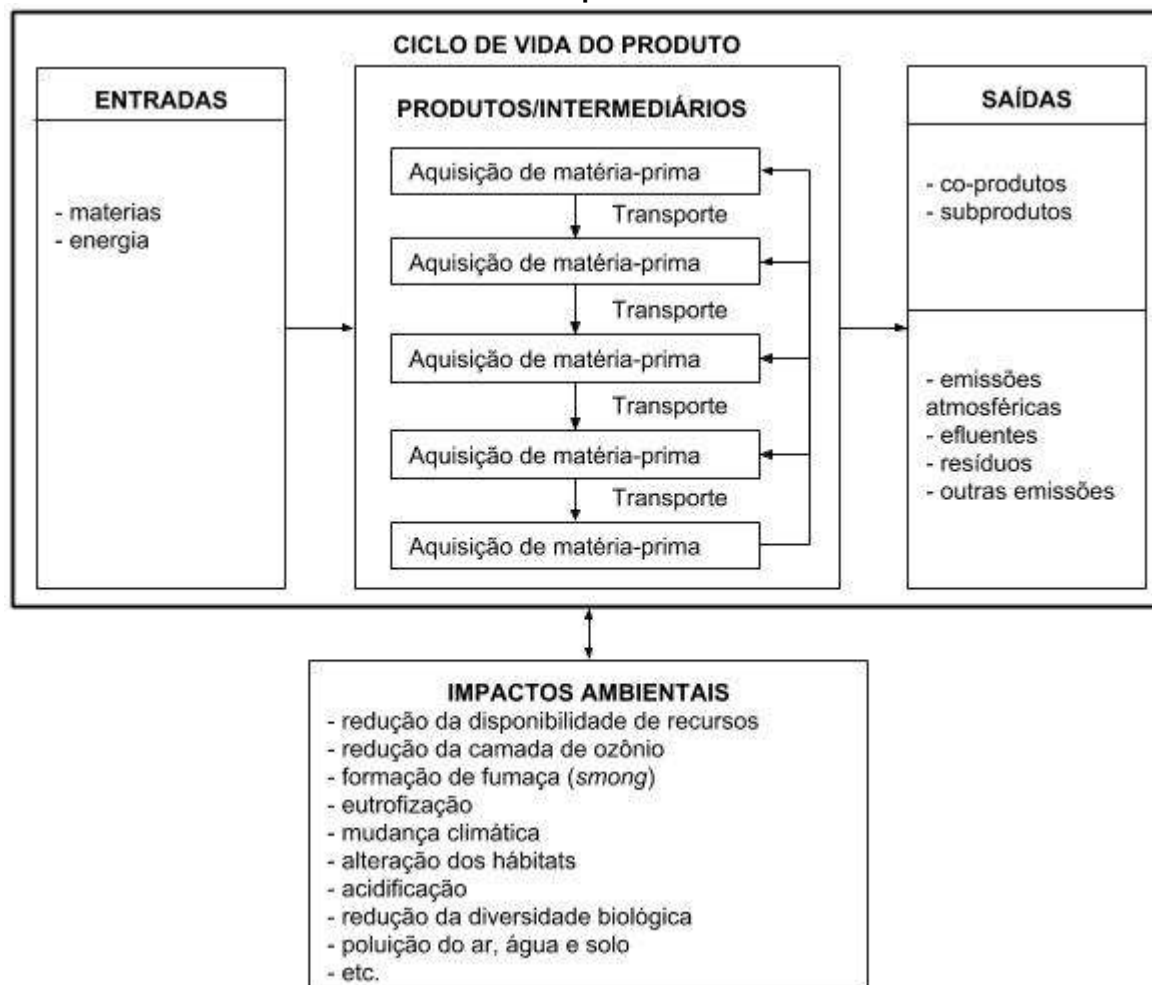
Todos os produtos, de alguma forma ou de outra, causam impactos sobre o meio ambiente. Estes impactos podem ocorrer durante todos os estágios do seu ciclo de vida, desde a extração de matérias primas, produção, uso, até a disposição final (PIGOSSO, MCALOONE e ROZENFELD, 2015). A ISO/TR 14062 (ABNT, 2004) aponta que a meta da integração dos aspectos ambientais no projeto e desenvolvimento de produto é a redução dos impactos ambientais adversos do produto por todo o seu ciclo de vida.

Deste modo, é importante ter uma visão do ciclo de vida do produto como um todo, incluindo os aspectos e impactos ambientais relacionados as entradas e saídas. A Figura 21, apresenta um esquema genérico do ciclo de vida de um produto, bem como, alguns impactos ambientais associados a ele.

Os impactos ambientais estão associados a aspectos ambientais. De acordo com a ISO/TR 14062, um aspecto ambiental pode ser, por exemplo, as emissões e o consumo de recursos que resultam nos impactos ambientais poluição do ar, da água e do solo e mudanças climáticas.

Nesta perspectiva, a ACV possibilita a avaliação do desempenho ambiental dos produtos ao longo do ciclo de vida de modo abrangente e tem sido utilizada para identificar soluções de engenharia para a sustentabilidade durante o desenvolvimento de produtos (BLENGINI, et al., 2012). Isso ocorre pelo fato de a ACV considerar todas as influências relevantes durante o ciclo de vida do produto, em vez de se concentrar apenas na variação de volume de material e energia (CHANG, LEE e CHEN, 2014). Possibilitando assim, identificar os pontos críticos do ciclo de vida e promover melhorias.

**Figura 21 - Entradas e saídas e exemplos de impactos ambientais associados ao ciclo de vida de um produto**



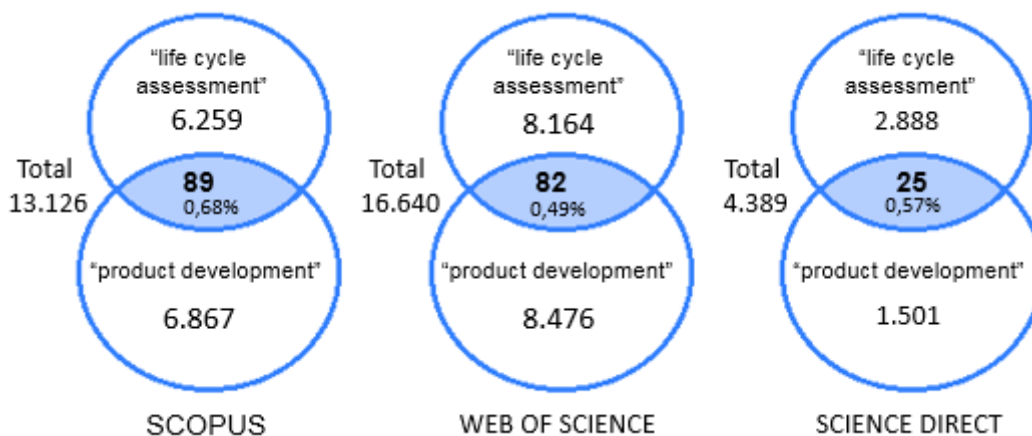
Fonte: ABNT (2004)

De modo geral, a sustentabilidade é uma questão complexa e um desafio para as organizações que tem de lidar com vários aspectos, como o *triple bottom line*, abordando aspectos econômicos, ambientais e sociais. Ao mensurar impactos ambientais a ACV está mais preocupada com os aspectos ambientais da sustentabilidade, no entanto, aspectos sociais e econômicos já são muitas vezes abordados pelas empresas envolvidas com processos de desenvolvimento de produtos (LOCKREY, 2015).

Devido as características da ACV, pesquisadores tentam otimizar o ciclo de vida dos produtos desenvolvendo abordagens para considerar a ACV no processo de desenvolvimento de produto. No entanto o número de trabalhos encontrados ainda é limitado. Como pode ser observado na Figura 22, mediante consulta dos termos "*life cycle assessment*" e "*product development*" (no título, resumo e palavras chaves, no período de 2012 a 2016) em três bases de dados reconhecidas

internacionalmente, são poucos os estudos encontrados na intercessão dos dois temas.

**Figura 22 - Artigos publicados sobre o tema ACV e DP no período de 2012 a 2016\***



**Fonte: Dados da pesquisa (2017)**

\*Pesquisa realizada em 02/01/2017

Na análise dos estudos selecionados (conforme descrito no item 5.1 da metodologia), verificou-se que a ACV vem sendo aplicada ao PDP para auxiliar em diversas finalidades. O Quadro 9, apresenta um conjunto de 10 finalidades da aplicação da ACV no PDP com as referências correspondentes.

**Quadro 9 - Finalidade da aplicação da ACV no PDP**

Finalidade da aplicação da ACV no PDP	Referência
Comparar o perfil ambiental de novo produto/tecnologia com produto/tecnologia convencional/existente	Yang e Chen (2012); Souza e Borsato (2016), Luglietti et al (2016); Simões, Pinto e Bernardo (2013); Chan et al (2013)
Orientar o desenvolvimento de novas estratégias de design	Moreno, Rohmer e Ma (2015); Wang, Chan e Li (2015); Ng e Chuah (2016); Wang, Chan e White (2014); Ng e Chuah (2014); Kongpanna et al (2016); Ng (2016a); Ng (2016b); Ko et al (2016)
Orientar na seleção ou comparação de materiais	Simões et al (2013); Eddy et al (2015); Mayyas et al (2012); Broeren (2016); Poulidikidou et al (2015); Chu, Su e Chen (2012); Reuter (2016)
Definir estratégias de melhoria em produtos	
Apoio a tomada de decisão	Poudelet et al. (2012); Askham, Gade e Hanssen, (2012)
Definir Estratégias de marketing	Lockrey (2015)
Pesquisa e desenvolvimento	Baldassarri et al (2016)
Promover inovação sustentável	Bocken et al (2012); Baran (2016); Russo, Rizzi e Montelisciani (2014)
Concepção de produto eco eficiente	Moreira et al (2015); Lee et al (2016); Kuo et al (2016)
Redução do consumo energia	Seow et al (2016), Ilsen, Herder e Aurich (2015)

**Fonte: Autor**

No PDP a ACV pode ser empregada com objetivo de **comparar o perfil ambiental de um novo produto ou de uma nova tecnologia com um produto existente**, a fim de avaliar as melhorias relacionadas ao impacto ambiental do novo produto. Devido as características da ACV é importante que essa comparação seja realizada para a mesma unidade funcional.

Simões, Pinto e Bernardo (2013) compararam um produto feito com material reciclado com o atualmente produzido. E evidenciaram que a ACV permite a identificação de situações de *trade-off* (trocas compensatórias) relacionadas ao ciclo de vida completo do produto e seus resultados podem ser usados como diretrizes valiosas no desenvolvimento de produtos.

Essas trocas compensatórias podem ocorrer em três situações: entre diferentes aspectos ambientais, onde, a comparação de potenciais impactos associados a cada opção pode ajudar na tomada de decisão e a encontrar a melhor solução; entre benefícios ambientais, econômicos e sociais, onde, por exemplo, a redução do uso prolongado do recurso e o descarte pelo aumento da vida útil do produto pode aumentar os custos iniciais; e, entre aspectos ambientais, técnicos e/ou de qualidade, quando o uso de um material em particular pode impactar negativamente na confiabilidade e durabilidade de um produto, mesmo que apresente benefícios ambientais (ABNT, 2004).

O uso da ACV na **orientação do desenvolvimento de novas estratégias de design**, inclui a avaliação de novos modelos ou de alternativas de design durante o desenvolvimento. Por exemplo, Ng et al (2016a) utilizam a ACV para classificar alternativas de design disponíveis de acordo com seus potenciais impactos ambientais. Os autores introduziram um mecanismo de tomada de decisão baseada em raciocínio evidencial para avaliar o desempenho ambiental das alternativas de design com o apoio de resultados da ACV.

Além de auxiliar na escolha de alternativas de design, a ACV também pode auxiliar na **seleção de materiais**. Neste caso, a ACV pode ser empregada para comparar o desempenho ambiental de diferentes opções de materiais. Broeren et al (2016) desenvolveram uma estrutura de seleção de material para identificar e avaliar materiais alternativos para um produto existente, oferecendo menores impactos e custos ambientais durante os estágios iniciais do desenvolvimento do produto.

De acordo com Bocken et al (2012) estima-se que mais de 80% da carga ambiental de um produto é determinada por escolhas feitas nas fases iniciais do

desenvolvimento. Isso torna o processo de **tomada de decisão**, um ponto muito importante no PDP. Tendo isto em vista, Pondelet et al (2012) desenvolveram uma ferramenta de apoio a decisão para racionalizar escolhas de design em um estágio inicial de desenvolvimento. Para isso, utilizam um estudo de caso baseado na ACV de um produto estratégico conhecido e a partir de uma biblioteca com materiais e componentes avaliam várias alternativas de design para o novo produto.

A ACV também vem sendo aplicada para **definir estratégias de melhoria em produtos**, incluindo a elaboração e/ou avaliação de cenários e a identificação de potenciais de melhorias ambientais ou *hotspots*.

Neste aspecto o objetivo da ACV é determinar as características mais problemáticas de um produto de acordo com seus impactos e aspectos ambientais, contribuindo para o desenvolvimento das possíveis estratégias de melhoria ambiental para o produto examinado (ZAFEIRAKOPOULOS e GENEVOIS, 2015). Por exemplo, se a ACV indicar que o consumo de energia é um ponto de maior relevância (*hotspot*) para o impacto ambiental do produto, este pode ser utilizado para gerar estratégias de melhoria relacionadas a esse aspecto na definição de critérios ambientais na reavaliação do PDP do produto.

De acordo com Russo, Rizzi e Montelisciani (2014), o ponto crucial é fundir indicações de ACV e ações efetivas de ecodesign, a fim de implementar iniciativas para produtos mais sustentáveis.

Ao **definir estratégias de marketing** a ACV tem potencial para criar oportunidades para comercialização de produtos ecologicamente preferíveis através de uma estratégia de marketing de ciclo de vida. Neste sentido, a ACV se tornou uma ferramenta de benchmarking para *stakeholders* relacionados ao desenvolvimento de produtos, se constituindo em uma ferramenta de gestão externa de benchmarking para decisão no desenvolvimento de novos produtos, informando sobre decisões de opções de produto comparado aos concorrentes (LOCKREY, 2015).

Lockrey (2015) destaca também que outra sobreposição significativa entre ACV ligada a produtos e marketing existe quando as empresas usam rótulos ecológicos ligados às declarações ecológicas de produtos.

Já no que se refere a **Pesquisa e desenvolvimento** a ACV é, em princípio, uma ferramenta adequada para ser usada em processos técnicos de P&D para avaliação ambiental de tecnologias emergentes ou projetos preliminares de

produtos. Para isso, o planejamento do projeto deve considerar a utilização de todo o potencial da ACV para avaliar impactos ambientais e sua influência para a tomada de decisões (SANDIN et al, 2014).

Baldassarri et al (2016) avaliam a estrutura de um projeto de P&D inter organizacional de um produto, onde a ACV foi empregada para apoiar a tomada de decisão de P&D, analisando o desempenho ambiental do ciclo de vida de diferentes soluções técnicas dos componentes do produto. Os autores salientam que, a ACV deve ser integrada no processo de forma que os integrantes do projeto possam percebê-la como uma fonte de inspiração e não como um obstáculo a criatividade.

Ao considerar as informações geradas pela ACV e a busca por melhorias no ciclo de vida do produto, podem ser encontradas soluções inovadoras para o produto. Neste aspecto, a ACV pode ser empregada, então, para **promover a inovação sustentável**.

Baran (2016) com base nos resultados da ACV encontrou soluções inovadoras para o produto durante a fase de projeto detalhado. O autor salienta que o ecodesign se caracteriza como um potencial significativo para a geração de eco-inovação que resulta do uso de uma abordagem sistemática para encontrar novas soluções ambientais no contexto do ciclo de vida.

Russo, Rizzi e Montelisciani (2014), com base em um conjunto de diretrizes concebidas para apoiar no desenvolvimento de novos produtos mais ecológicos, considerando os resultados da ACV, propuseram um modelo para promover a inovação sustentável na concepção dos produtos. Os impactos ambientais de todos os fluxos de energia e materiais previamente identificados são mapeados com objetivo de destacar os *hotspots* em que agir, encontrando assim soluções inovadoras.

A **concepção de produtos eco eficientes** visa considerar os aspectos ambientais observando todas as fases do ciclo de vida do produto. Kuo et al (2016), utilizam a ACV para avaliar os impactos ambientais de novos projetos de modelos anteriores. Os autores utilizaram o processo de busca em profundidade para separar projetos em grupos, com base em semelhanças entre os atributos do produto. Neste caso, resultados da ACV de projetos anteriores são utilizados para prever os impactos para novos projetos. Assim, a ACV pode ser usada para melhorar o design do produto, no início do processo de design ecológico.

Lee et al (2016), propuseram um método de concepção ecológica de produtos de baixa emissão de carbono, baseado nas emissões de gases do efeito estufa (GEE).

A última finalidade da aplicação da ACV no PDP abordada nos estudos analisados é a **redução do consumo de energia**. Energia é consumida em todas as fases do ciclo de vida de um produto. De acordo com Seow et al (2016), para alcançar uma redução significativa do consumo de energia é essencial que as considerações de energia sejam incorporadas na fase de desenvolvimento do produto.

Ilse, Herder e Aurich (2015) utilizam a ACV numa abordagem prospectiva, para avaliar o consumo de energia na fase de produção e simular o consumo de energia na fase de uso do produto utilizando um protótipo virtual.

Dentre as finalidades abordadas, conforme pode ser observado na Figura 23, orientar o desenvolvimento de novas estratégias de design, orientar na seleção ou comparação de materiais e definir estratégias de melhoria em produtos, são os principais objetivos que tem levado a aplicação da ACV no PDP (definido segundo o número de estudos encontrados para cada finalidade apresentada na figura).

**Figura 23 - Principais finalidades da aplicação da ACV no PDP**



**Fonte: Autor**

Com base no estudo de um grande número de trabalhos de investigação relevantes, Chang, Lee e Chen (2014), concluíram que ainda existem muitas limitações nos trabalhos desenvolvidos no que se refere a abordagem desse tema. Segundo os autores os trabalhos desenvolvidos prestam mais atenção nas teorias e metodologias em vez de aplicações e, o processo de desenvolvimento de produto, que é uma das principais plataformas para a ACV, recebe relativamente pouca atenção na pesquisa.

Deste modo, a fim de investigar a integração da ACV no PDP, alguns critérios foram analisados. Os resultados obtidos podem ser observados no Quadro 10.

O primeiro critério analisado se refere ao modelo de PDP adotado na aplicação da ACV. Dos estudos analisados poucos se referem a aplicação da ACV diretamente no processo de desenvolvimento de produto. Vários se referem a uma fase específica de desenvolvimento e alguns não especificam fase alguma.

**Quadro 10 - Modelos de PDP e abordagens da ACV empregados na aplicação da ACV no PDP (continua)**

<b>Crítérios</b>	<b>Resultados encontrados</b>	<b>Principais autores</b>
<b>Modelo adotado</b>	Total design (PUGH, 1991)	Seow et al (2016)
	Stage-Gate (COOPER, 1993)	Souza e Borsato (2016); Bocken et al (2012)
	Modelo Unificado (ROZENFELD et al, 2006)	Moreira et al (2015)
<b>Fase do PDP</b>	Projeto conceitual	Seow et al (2016); Mayyas et al (2012); Yang e Chen (2012); Moreno, Rohmer e Ma (2015)
	Investigação preliminar, investigação detalhada, desenvolvimento	Souza e Borsato (2016)
	Design do produto	Romli et al (2015); Kuo et al (2016); Chan, Wang e Raffoni (2014); Ng (2016); Broeren (2016); Ko et al (2016); Eddy et al (2015); Chu, Su e Chen (2012); Russo, Rizzi e Montelisciani (2014)
	Desenvolvimento do protótipo	Luglietti et al (2016); Velden, Kuusk e Köhler (2015), Ilsen, Herder e Aurich (2015)
	Pré-desenvolvimento, desenvolvimento, pós-desenvolvimento (Modelo Unificado)	Moreira et al (2015)
	Planejamento, projeto preliminar, projeto detalhado	Poudelet et al (2012)
	Avaliação do projeto do produto	Wang, Chan e Li (2015)
	Triagem de ideias	Bocken et al (2012)
	Estágios iniciais do PDP	Chan et al (2013)
	Projeto detalhado	Baran (2016); Simões, Pinto e Bernardo (2013); Lee et al (2016)



**Quadro 10 - Modelos de PDP e abordagens da ACV empregados na aplicação da ACV no PDP (conclusão)**

<b>Crítérios</b>	<b>Resultados encontrados</b>	<b>Principais autores</b>
<b>Abordagem da ACV</b>	ACV Completa	Souza e Borsato (2016); Luglietti et al (2016); Velden, Kuusk e Köhler (2015); Ilsen, Herder e Aurich (2015); Moreira et al (2015); Mayyas et al (2012); Chan et al (2013); Romli et al (2015); Yang e Chen (2012); Kuo et al (2016); Broeren (2016); Baran (2016); Lacasa, Santolaya e Biedermann (2016); Poulidikou et al (2015); Ko et al (2016); Reuter (2016); Cobut, Beauregard e Blanchet (2015); Simões et al (2013); Wang, Chan e White (2014); Pondelet et al (2012); Ramanujan et al (2014); Chu, Su e Chen (2012); Russo, Rizzi e Mont elisciani (2014); Moreno, Rohmer e Ma (2015); Baldassarri et al (2016)
	ACV simplificada	Seow et al (2016); Bocken et al (2012); Lee et al (2016); Ng (2016a); Ng (2016b); Ng e Chuah (2016); Zafeirakopoulos e Genevois (2015); Eddy et al (2015);
	ICV	Ng e Chuah (2014)
	Pegada de carbono	Kongpanna et al (2016)
	Fases do ciclo de vida	Wang, Chan e Li (2015); Chan, Wang e Raffoni (2014)

Fonte: Autor

De modo geral, três modelos de desenvolvimento de produto foram adotados nas pesquisas para integração da ACV, são eles: Total design de Pugh (1991), Stage-Gate de Cooper (2008) e Modelo Unificado de Rozenfeld et al (2006).

Seow et al (2016) utiliza o modelo Total design de Pugh (1991) para propor uma nova metodologia de projeto – Design para Minimização de Energia (Design for Energy Minimization - DfEM) – que considera a energia através de uma série de etapas de projeto. Os autores têm como objetivo minimizar o consumo de energia nas fases de projeto conceitual, projeto detalhado e produção. Para isso, propõem a utilização de três principais categorias de ferramentas: avaliação do ciclo de vida simplificada (ACVs) na fase de projeto conceitual, modelo de simulação de energia na fase de projeto detalhado e sistema avançado de medição de energia na fase de produção.

A ACV-s é conduzida através do uso da ferramenta Eco-Pas que pode ser aplicada no estágio inicial do projeto para estimar o impacto ambiental do produto com base em requisitos funcionais em vez de parâmetros técnicos. Ou, por meio da ferramenta EcoAudit (parte do conjunto de software Cambridge Engineering Selector (CES)) que usa informações sobre composição, processamento, uso, transporte e disposição do produto. A ferramenta combina estas informações com dados de eco-

propriedade sobre os materiais e processos utilizados no projeto para calcular o uso de energia e a saída de CO<sub>2</sub> resultante de cada estágio no ciclo de vida do produto. O uso da ferramenta pode orientar estratégias de projeto, identificando materiais e processos que atendam aos requisitos funcionais com um custo mínimo de energia para o produto (SEOW et al, 2016).

Souza e Borsato (2016) utilizaram o modelo Stage-Gate de Cooper (2008), mais especificamente as fases de investigação preliminar, investigação detalhada e desenvolvimento para incorporar princípios sustentáveis ao PDP. A proposta dos autores é concentrar-se na fase de fim de vida do ciclo de vida do produto. Então, converteram uma lista de práticas operacionais sustentáveis em especificações e critérios, para ser avaliados dentro das revisões (*gate*). E utilizaram a ACV para comparar uma alternativa de produto para um produto atual e verificar as melhorias obtidas.

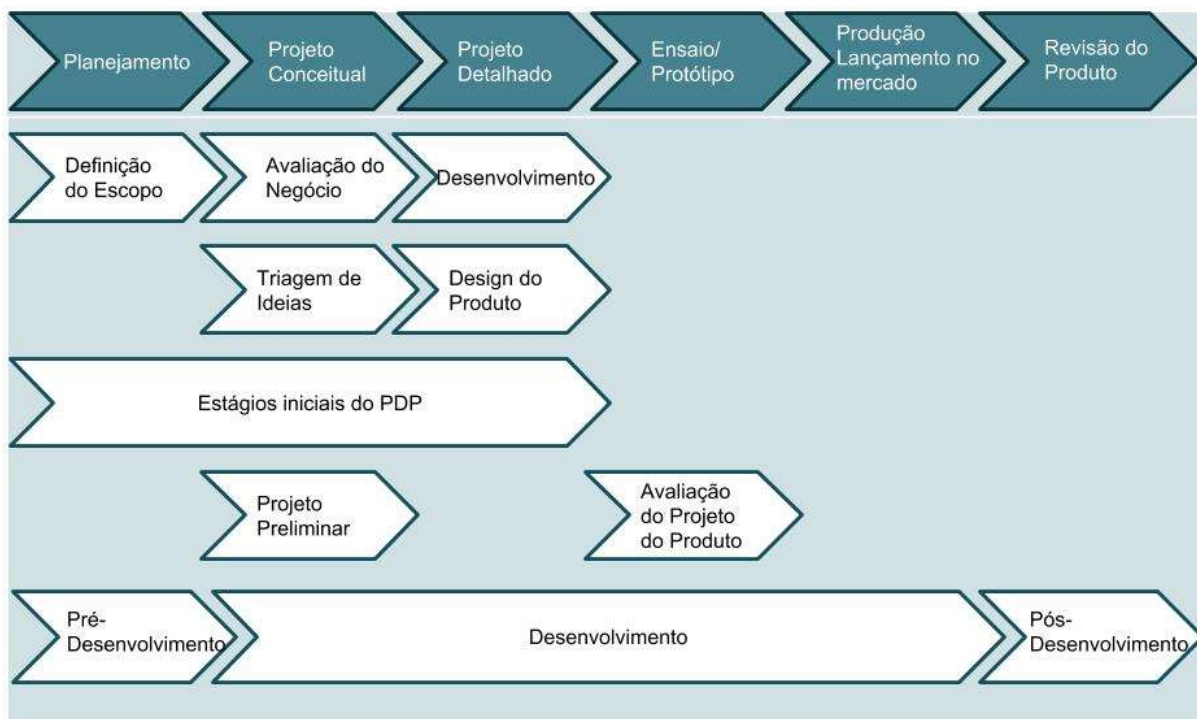
Bocken et al (2012) desenvolveram uma ferramenta para avaliar opções inovadoras para o produto considerando as dificuldades de implementação em relação ao potencial da redução de gases de efeito estufa. Os autores consideram a integração da ferramenta na fase de triagem de ideias do modelo Stage-Gate de Cooper (2008) para avaliar uma série de ideias antes de iniciar uma pesquisa técnica e de mercado mais aprofundada. A avaliação dos benefícios de redução de emissão é verificada em comparação com os resultados de uma ACV de um produto existente.

Moreira et al (2015) com base no Modelo Unificado desenvolveram um quadro conceitual baseado nas macro fases, pré desenvolvimento, desenvolvimento e pós desenvolvimento, para integrar o gerenciamento de resíduos e fim de vida ao PDP de um produto da indústria aeronáutica com a finalidade de reduzir sua pegada de carbono. Para cumprir tal objetivo os autores propõem uma avaliação de toda a cadeia de suprimentos e processo de fabricação, incluindo considerações do ciclo de vida na fase de pós desenvolvimento e integrando-as a fase de pré desenvolvimento.

O segundo critério avaliado, se refere as fases do PDP em que a ACV foi aplicada. Conforme pode ser observado no Quadro 10 e fazendo uma correlação das fases abordadas nos estudos com as fases para projeto e desenvolvimento apresentadas pela ISO/TR 14062 (Figura 24), percebe-se grande potencial de

integração da ACV nas fases de planejamento, projeto conceitual, projeto detalhado e protótipo.

**Figura 24 - Correlação das fases de PDP com a ISO/TR 14062**

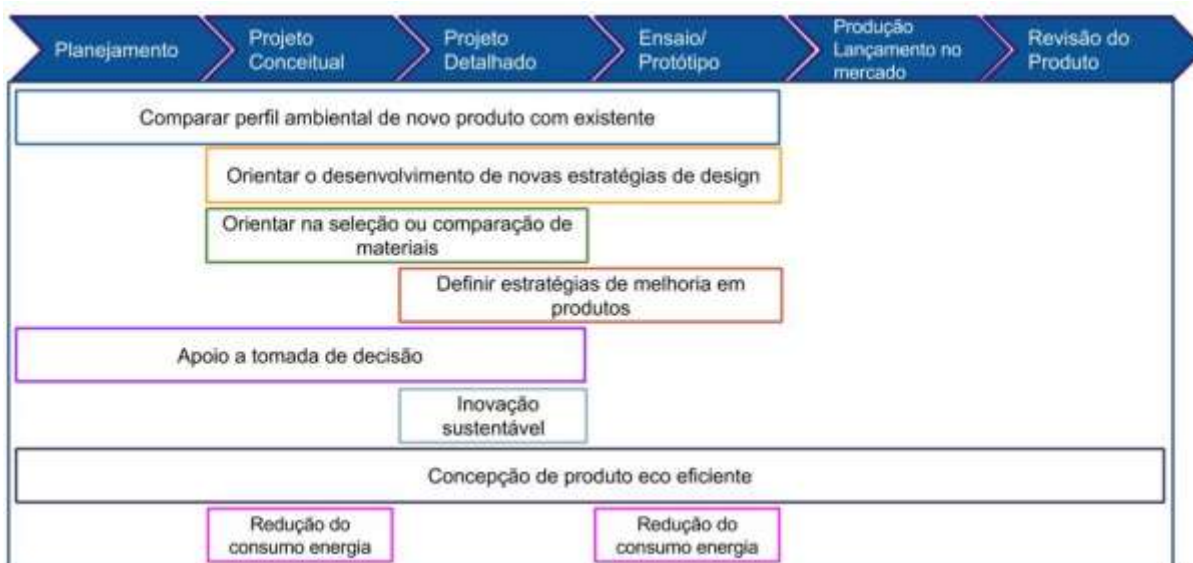


**Fonte: Autor**

Segundo o estudo realizado por Chang, Lee e Chen (2014), o uso da ACV na fase de projeto conceitual, oferece uma abordagem para testar os conceitos do ponto de vista do impacto ambiental, sendo que o feedback obtido deve ser considerado, de modo a formular estratégias de design que podem auxiliar na obtenção de produtos mais sustentáveis. Já na fase de projeto detalhado, segundo os autores, a ACV pode ser empregada para decompor o processo em fluxos de materiais e energia, pois, grande parte dos impactos ambientais são produzidos quando os recursos são consumidos. A ACV pode ser combinada com bases de dados para analisar o projeto do processo.

Em resumo, a Figura 25 apresenta a finalidade de aplicação da ACV em cada fase do PDP, segundo os estudos citados anteriormente.

**Figura 25 - Finalidade da aplicação da ACV em cada fase do PDP**



**Fonte: Autor**

Outro critério analisado foi em relação a abordagem da ACV utilizada nos estudos. Alguns autores como Seow et al (2016); Bocken et al (2012); Lee et al (2016); Ng (2016a); Ng (2016b); Ng e Chuah (2016); Zafeirakopoulos e Genevois (2015); Eddy et al (2015) relatam a dificuldade da aplicação da ACV nas fases iniciais do desenvolvimento de produtos. De acordo com Ng (2016a) existem informações detalhadas sobre o produto que geralmente não estão disponíveis nas fases iniciais do projeto. Tendo isso em vista, utilizaram abordagens da ACV simplificada.

A Avaliação do Ciclo de Vida Simplificada (ACVs) tenta lidar com este problema, oferecendo apoio à decisão mais enxuta (BUCHERT et al, 2015; NG, 2016). As ACVs são formas mais rápidas de elaborar estratégias a partir de uma perspectiva de ciclo de vida. Podem ser construídas de várias maneiras, por exemplo, usando dados qualitativos ou semi-quantitativos, usando bancos de dados prontos, usando pressupostos de regras básicas, eliminando processos do ciclo de vida do produto, selecionando apenas os fatores de entrada mais significativas a fim de tornar o processo mais eficiente e mais rápido (PESONEN e HORN, 2013). Bocken et al (2012) complementam que a ACVs considera um número reduzido de impactos ou processos na análise. No entanto é preciso estar atento aos processos e impactos omitidos.

Por exemplo Kongpanna et al (2016) consideraram apenas a avaliação da pegada de carbono para avaliar as alternativas e identificar o melhor processo de design. Bocken et al (2012) e Lee et al (2016) utilizaram a avaliação de gases de efeito estufa para avaliar um produto inovador e para a concepção de produto eco eficiente. Ng e Chuah (2014) utilizaram dados do ICV para avaliar o impacto ambiental de opções de design.

Para viabilizar a aplicação da ACV nas fases iniciais do PDP alguns autores utilizaram alguns métodos e ferramentas. O Quadro 11 apresenta as principais ferramentas utilizadas na integração da ACV no PDP.

**Quadro 11 - Métodos e ferramentas utilizados para aplicação da ACV no PDP**

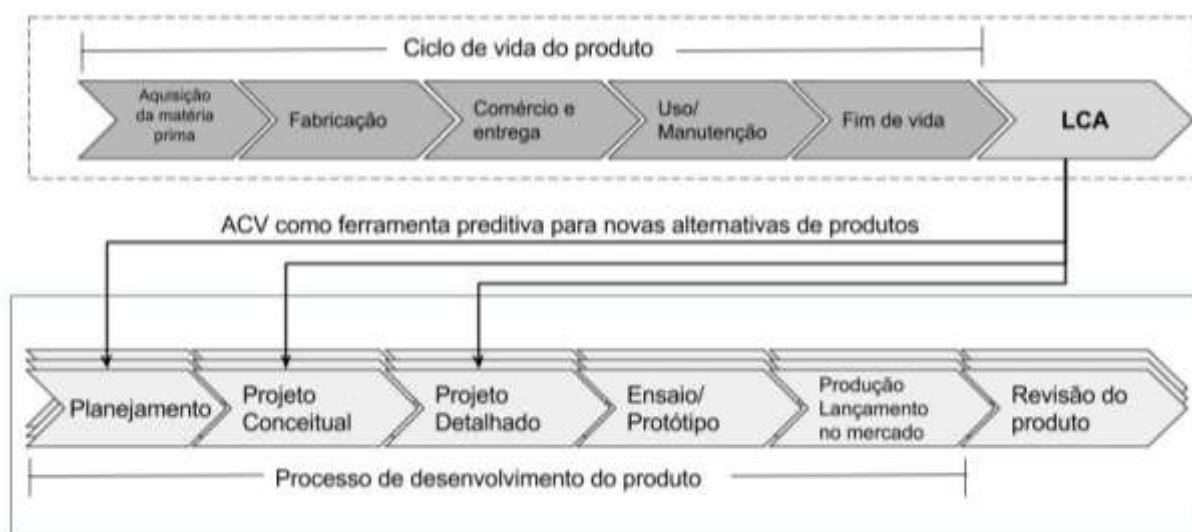
Ferramentas	Referência
AHP/Fuzzy	Chan et al (2013); Ng (2016)
Fuzzy/TOPSIS Fuzzy	Wang, Chan e Li (2015)
AHP/Fuzzy/Raciocínio Evidencial	Ng e Chuah (2016)
AHP/Raciocínio Evidencial	Ng (2016b); Ng e Chuah (2014)
AHP	Ramanujan et al (2014); Chan, Wang e Raffoni (2014)
QFD	Romli et al (2015); Seow et al (2016)
TRIZ	Yang e Chen (2012); Russo, Rizzi e Mont elisciani (2014)
Teste de Kruskal-Wallis	Bocken et al (2012)
Busca em Profundidade (DFS - Depth-First Search)	Kuo et al (2016)
CAD	Ko et al (2016); Chu, Su e Chen (2012)
Processo de Rede Analítica (ANP)	Zafeirakopoulos e Genevois (2015)
Lógica difusa e Processo de Rede Analítica (ANP)	Wang, Chan e White (2014)
Reengenharia de Processo de Negócio	Poudelet et al (2012)
Custo do Ciclo de Vida (Life cycle costing - LCC)	Simões, Pinto e Bernardo (2013); Simões et al (2013)
Análise Funcional	Moreno, Rohmer e Ma (2015)

**Fonte: Autor**

Por exemplo Romli et al (2015), apresenta uma metodologia de tomada de decisão que integra o ecodesign e utiliza um processo de implantação da função da qualidade (QFD) para abordar as preocupações ambientais relacionadas ao processo de fabricação, uso do produto e estratégias de fim de vida. O processo é formado utilizando uma casa da qualidade de ecodesign adaptada (Eco-HoQ).

Ao incluir a ACV no PDP, a ACV deixa de ser uma análise retrospectiva, referente a sistemas e produtos conhecidos, para ser prospectiva, na perspectiva de limitar o encargo ecológico de produtos ainda a serem desenvolvidos (LOCKREY, 2015). Essa nova perspectiva da ACV é demonstrada na Figura 26.

**Figura 26 - ACV como ferramenta preditiva no desenvolvimento de novos produtos**



**Fonte: Adaptado de Poudelet (2012)**

Como pode ser observado, nesta nova perspectiva, a ACV que geralmente é realizada no final do ciclo de vida do produto é integrada nos estágios iniciais de desenvolvimento do produto. Assim, os resultados da ACV são utilizados para desenvolver novas soluções para geração do produto.

De modo geral, a ACV possibilita aprender sobre as fases do ciclo de vida mais problemáticas e ter uma projeção para melhorias futuras (ZAFEIRAKOPOULOS e GENEVOIS, 2015). Isso pode trazer vários benefícios para a organização.

De acordo com a ISO 14062 os potenciais benefícios obtidos pela organização, incluem: redução de custos, pela otimização do uso de materiais e energia, processos mais eficientes, redução da disposição de resíduos; estímulo a inovação e criatividade; identificação de novos produtos; atingir ou superar as expectativas dos clientes; melhoria da imagem da organização e/ou marca; incremento do conhecimento sobre o produto; redução de riscos, melhoria das relações com agências reguladoras, melhoria das comunicações internas e externas.

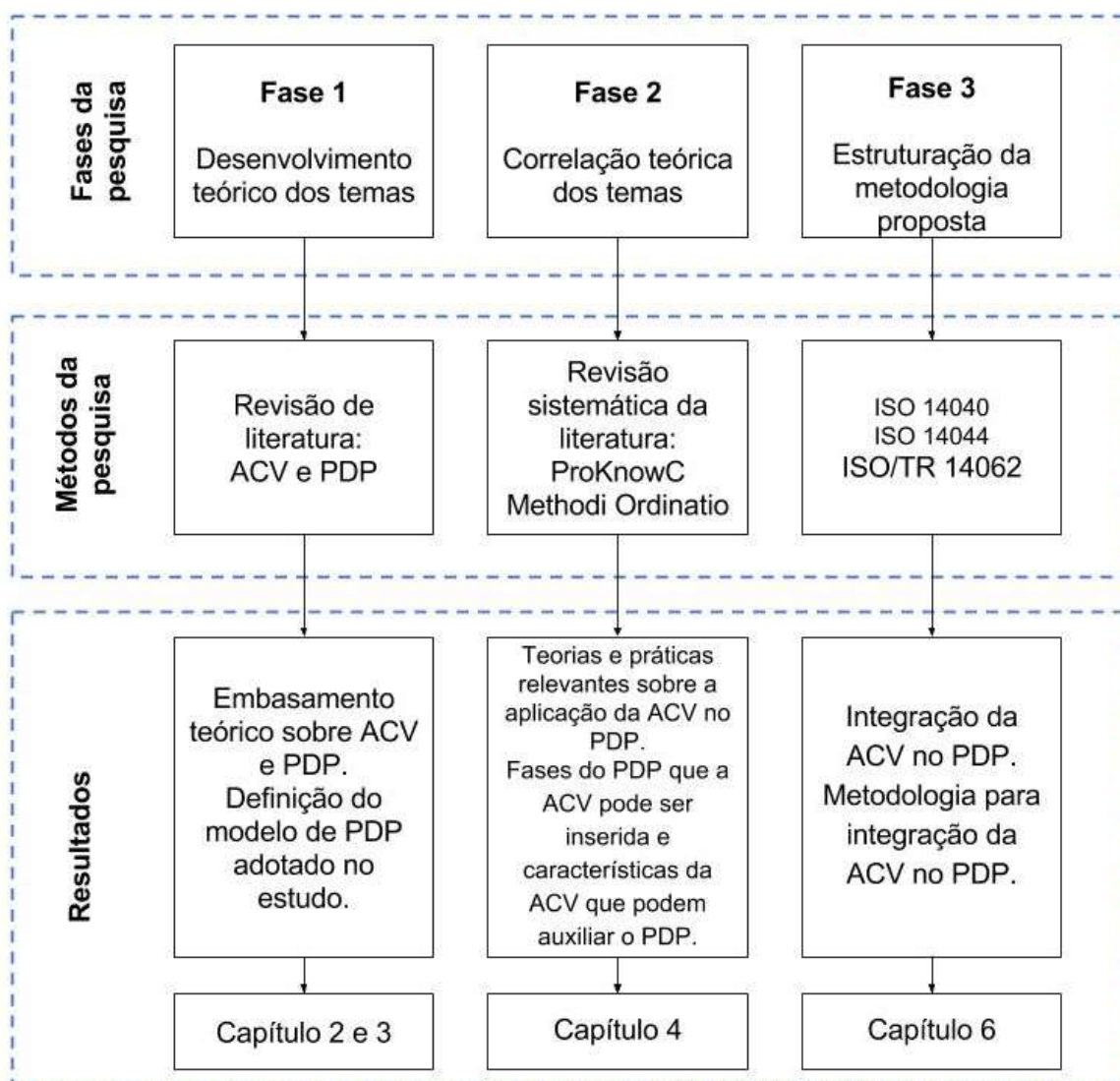
Diante disso, vê-se a importância de novos estudos que tratem da integração da ACV diretamente processo de desenvolvimento de produto. Sendo assim, o próximo capítulo aborda os procedimentos metodológicos desta pesquisa.

## 5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este capítulo apresenta os procedimentos metodológicos empregados para o cumprimento dos objetivos traçados no estudo, assim como, aborda os métodos adotados e as justificativas para a escolha dos mesmos.

A metodologia apresentada foi desenvolvida seguindo uma abordagem iterativa, compreendendo, de modo geral, três principais fases de pesquisa, conforme pode ser visualizado na Figura 27.

**Figura 27 - Esquema das fases da pesquisa**



Fonte: Autor

Na primeira fase uma revisão da literatura foi realizada abordando os temas ACV e PDP de forma isolada e a integração de aspectos ambientais no PDP, onde

obteve-se a definição do modelo de PDP adotado no estudo. Na segunda fase uma revisão sistemática da literatura foi adotada para obter conhecimento sobre a aplicação da ACV no PDP, onde verificou-se teorias e práticas relevantes que forneceram base para a estruturação da proposta apresentada neste estudo. Uma descrição mais detalhada dos procedimentos adotados é apresentada a seguir. Na terceira fase foi realizada a estruturação da metodologia proposta.

## 5.1 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA SOBRE A INTEGRAÇÃO DA ACV AO PDP

A integração da ACV ao PDP foi investigada mediante um levantamento na literatura de teorias e práticas relevantes seguindo a metodologia de análise bibliométrica, de acordo com o método ProKnow-C proposto por Ensslin et al (2014) e o *Methodi Ordinatio* de Pagani et al (2015).

O levantamento de literatura foi necessário para, em primeiro lugar, obter dados existentes relevantes para a área emergente de estudo e, em segundo lugar, para a avaliação desses dados com objetivo de desenvolver novas ideias para a integração da ACV no desenvolvimento de produtos.

Sendo assim, a seleção dos artigos relevantes para estudo foi realizada mediante busca dos termos “*life cycle assessment*” (LCA), “*product development*”, “*ecodesign*”, “*design for environment*” (DfE) e “*design for sustainability*” (DfS) em três bases de dados reconhecidas internacionalmente, Scopus, Web of Science e Science Direct. A combinação das palavras chaves utilizada pode ser observada no Quadro 12.

**Quadro 12 - Combinação de palavras chaves utilizadas na busca**

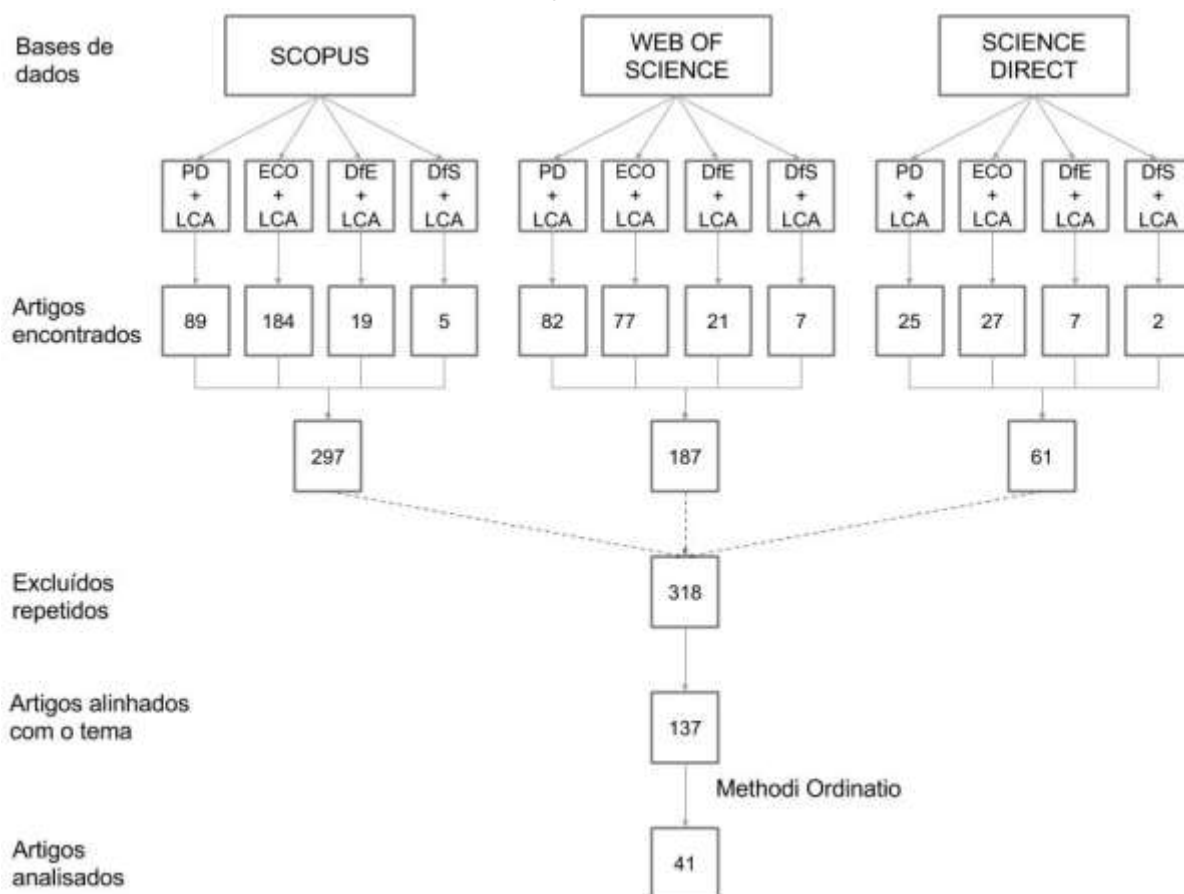
<b>COMBINAÇÃO DE PALAVRAS CHAVES</b>
product development AND life cycle assessment
ecodesign AND life Cycle Assessment
design for environment AND life Cycle Assessment
design for sustainability AND life Cycle Assessment

A busca foi limitada a estudos publicados em periódicos que continham os termos no título, resumo ou palavras chaves, sendo considerado o período dos últimos 5 anos. O refinamento dos estudos encontrados foi feito com auxílio do



programa EndNote X7. A Figura 28, mostra uma visão geral do processo de seleção dos artigos.

**Figura 28 - Visão geral do processo de seleção dos artigos**



**Fonte: Autor**

Após leitura do título, resumo e palavras-chave dos 318 artigos encontrados, 137 foram considerados relacionados com o tema de estudo. Estes foram analisados e classificados em relação ao número de publicações, fator de impacto (calculado para o ano 2015) e ano de publicação por meio da aplicação do Methodi Ordinatio, conforme Equação 4 (PAGANI et al, 2015).

$$\text{InOrdinatio} = (\text{FI}/1000) + \alpha * [10 - (\text{AnoPesq} - \text{AnoPub})] + (\Sigma \text{Ci})$$

(4)

Onde:

FI = Fator de impacto

Ci = Total de citações localizadas no google scholar

$\alpha$  = é o valor que o pesquisador atribui ao ano

AnoPesq = é o ano em que a pesquisa está sendo realizada

AnoPub = é o ano que a artigo foi publicado

Após classificação foram selecionados 63 artigos para leitura integral, no entanto, 6 artigos não foram encontrados e 16 artigos foram excluídos após leitura por não apresentarem o uso da ACV ou por se tratarem de revisão. Sendo assim, 41 artigos foram analisados.

Foram incluídos na análise quatro critérios relacionados a integração da ACV no PDP, conforme descrito no Quadro 13.

**Quadro 13 - Critérios considerados na análise sistêmica**

<b>Critérios</b>	<b>Descrição dos critérios</b>
Modelo adotado	Modelo de PDP adotado pelo estudo
Fase do PDP	Fase do PDP que a ACV foi aplicada
Finalidade da ACV	Objetivo pelo qual a ACV foi aplicada
Abordagem da ACV	Abordagem da ACV utilizada nas fases do PDP: ACV, ACV simplificada, ICV, etc.
Ferramentas/Métodos utilizados	Ferramentas ou métodos utilizados para viabilizar a aplicação da ACV no PDP

**Fonte: Autor**

Os resultados encontrados são apresentados no capítulo 6 deste estudo.

## 5.2 ESTRUTURAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA

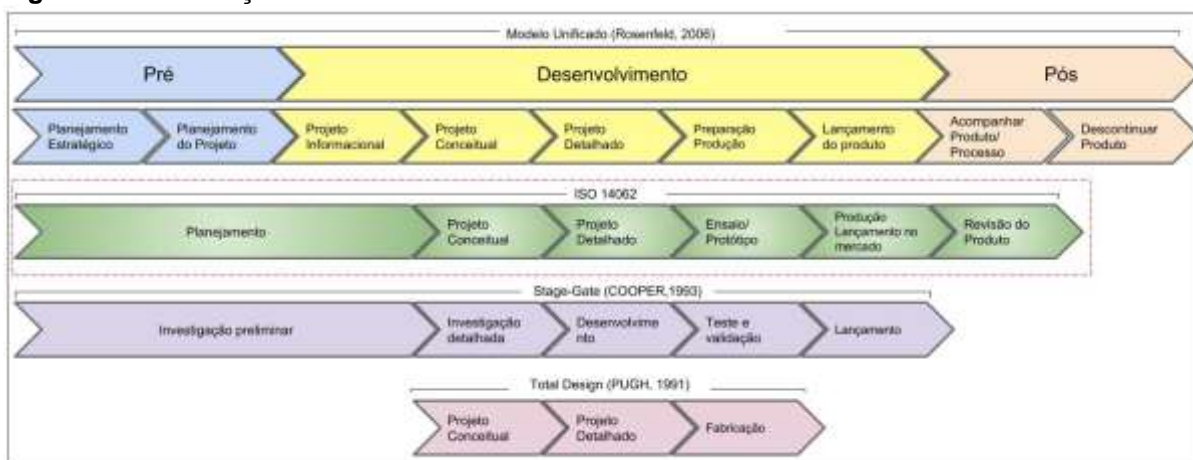
A estruturação da metodologia proposta para integração da ACV ao desenvolvimento do produto foi desenvolvida considerando a ISO/TR 14062 (ABNT, 2004), os requisitos normativos da série NBR ISO 14040 (ABNT, 2009a) e NBR ISO 14044 (ABNT, 2009b) para Avaliação do Ciclo de Vida, além de teorias relevantes sobre os temas.

### 5.2.1 Modelo de PDP adotado

A estrutura adotada pela ISO/TR 14062 para projeto e desenvolvimento de produto foi adotada neste estudo devido ao fato de apresentar reconhecimento e aceitação internacional. E também pelo fato de sua estrutura apresentar caráter genérico, o que permite sua adaptação a realidade e necessidades de diferentes organizações.

Além disso, as fases para desenvolvimento de produto abordadas pela ISO/TR 14062 se equivalem as apresentadas por outros modelos de desenvolvimento de produto desenvolvidos nacional e internacionalmente, como pode ser observado na Figura 29. Os modelos considerados para comparação foram os modelos abordados nos estudos que trataram da aplicação da ACV no PDP, apresentados no capítulo 4.

**Figura 29 - Correlação da ISO/TR 14062 com outros modelos de PDP**



Fonte: Autor

Sendo assim, a Figura 30 apresenta as fases consideradas neste estudo para a integração da ACV.

**Figura 30 - Fases do PDP adotadas para integração da ACV**



Fonte: Adaptado de ABNT (2004)

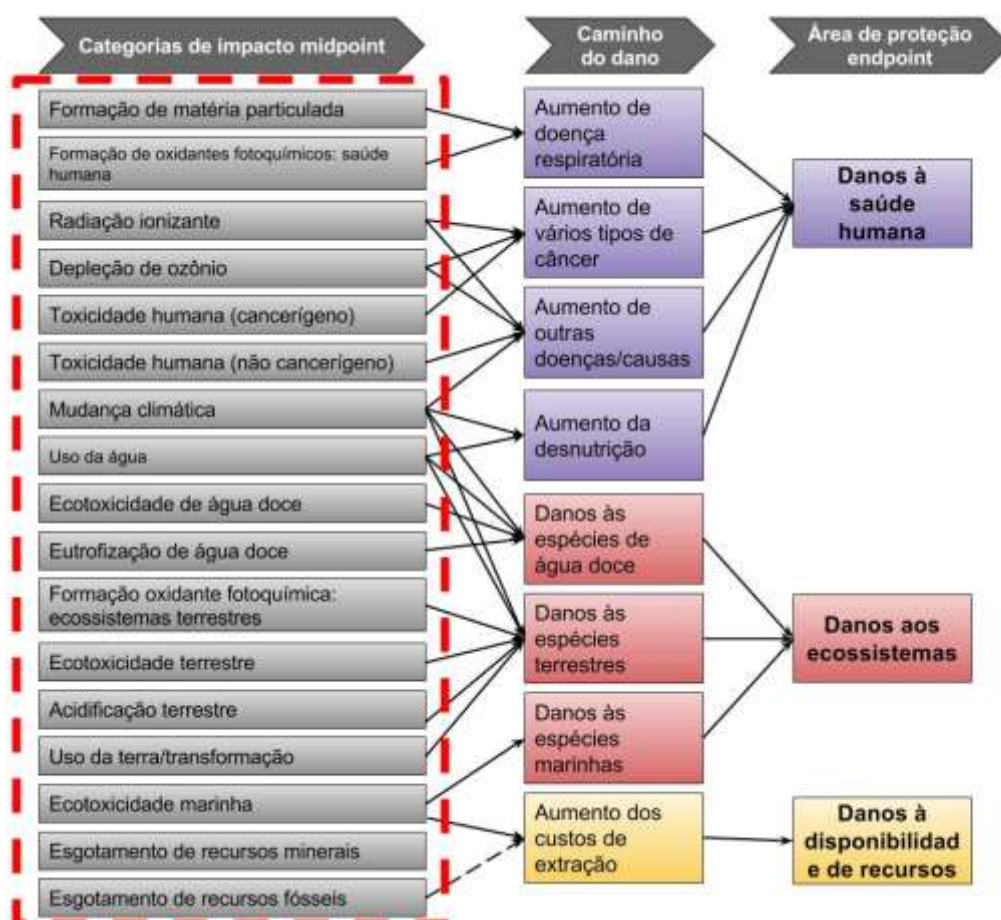
Para cada fase apresentada foi avaliado como os resultados da ACV podiam ser inseridos para auxiliar o PDP, os resultados obtidos possibilitaram a integração da ACV no PDP conforme apresentado no item 6.1.2.

## 5.2.2 Indicadores ambientais

A integração da ACV ao PDP foi realizada considerando os resultados que são obtidos pela ACV conforme diretrizes apresentadas pela ISO 14040 (ABNT, 2009a) e ISO 14044 (ABNT, 2009b). Ou seja, as categorias de impacto obtidas pelo método de avaliação escolhido.

Para este estudo foi considerado o Método ReCiPe 2016 e suas categorias de impacto. Este método é indicado principalmente pelo fato de a sua atualização ser incluído fatores de caracterização para as condições brasileiras. Deste modo a Figura 31 apresenta em destaque as categorias de impacto consideradas.

**Figura 31 - Categorias de impacto consideradas**



Fonte: Adaptado de Huijbregts et al (2016)

### 5.2.3 Avaliação da integração da ACV no PDP

A proposta para avaliação da integração da ACV no PDP foi realizada por meio de uma matriz de avaliação, elaborada com base na adaptação da Matriz AT&T proposta por GRAEDEL e ALLENBY (1995). Esta metodologia foi escolhida pelo fato de apresentar uma certa simplicidade e facilidade de aplicação na indústria.

Segundo Bovea e Pérez-Belis (2012) a matriz AT&T é um dos métodos mais bem comentados e utilizados para avaliar os requisitos ambientais. E além disso, é citada por outros autores como SETAC (1999), Allenby (2000) e Visotsky, Patel e Summers (2017).

De modo geral, a avaliação é realizada comparando-se o perfil ambiental, gerado pelas categorias de impacto, do novo produto desenvolvido em relação ao produto de referência em termos de melhoria/redução de impacto. A avaliação é realizada utilizando uma matriz conforme apresentado no Quadro 14.

**Quadro 14 - Modelo da matriz de avaliação da integração da ACV ao PDP**

Categorias de impacto	Fases do Ciclo de Vida do Produto				
	Aquisição matéria-prima	Fabricação	Comércio e entrega	Uso/Manutenção	Reutilização/Reciclagem/Recuperação de energia/disposição
Categoria de impacto 1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
Categoria de impacto 2	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5
Categoria de impacto 3	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5
Categoria de impacto 4	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5
Categoria de impacto 5	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5
Categoria de impacto n	n.1	n.2	n.3	n.4	n.5

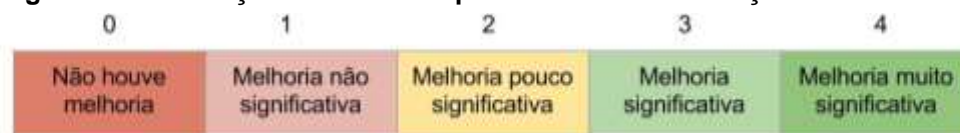
Fonte: Autor

A matriz é constituída por uma coluna para as categorias de impacto e uma linha para as fases do ciclo de vida do produto.

Para ser possível a avaliação do potencial de melhoria da integração da ACV no PDP, a escala de 0 a 4 apresentada pela Matrix AT&T foi transformada numa escala de avaliação de cinco pontos conforme demonstrado na Figura 32.

Onde 0 indica que não houve melhoria na fase do ciclo de vida para a categoria avaliada e 4 indica que houve melhoria muito significativa na fase do ciclo de vida para a categoria avaliada.

**Figura 32 - Pontuação escala de respostas matriz de avaliação**



**Fonte: Autor**

Para o preenchimento da pontuação correspondente a cada elemento da matriz, foi elaborado um protocolo de avaliação, conforme Apêndice A. Uma avaliação par a par é realizada e posteriormente uma pontuação é obtida pela soma dos elementos da matriz, conforme descrito em Graedel e Allenby (1995):

$$R_{erp} = \sum_i \sum_j M_{ij} \quad (5)$$

Onde:

$R_{erp}$  = Avaliação do produto ambientalmente responsável

Uma comparação, é então, realizada considerando a pontuação alcançada e a pontuação máxima obtida pela matriz. Uma demonstração mais detalhada é apresentada no item 6.1.3.

## 6 RESULTADOS

Este capítulo apresenta a abordagem proposta para integração da ACV ao processo de desenvolvimento de produto na indústria.

### 6.1 APRESENTAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA

A estruturação da abordagem proposta neste estudo para a integração da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) no Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP) é apresentada na Figura 33.

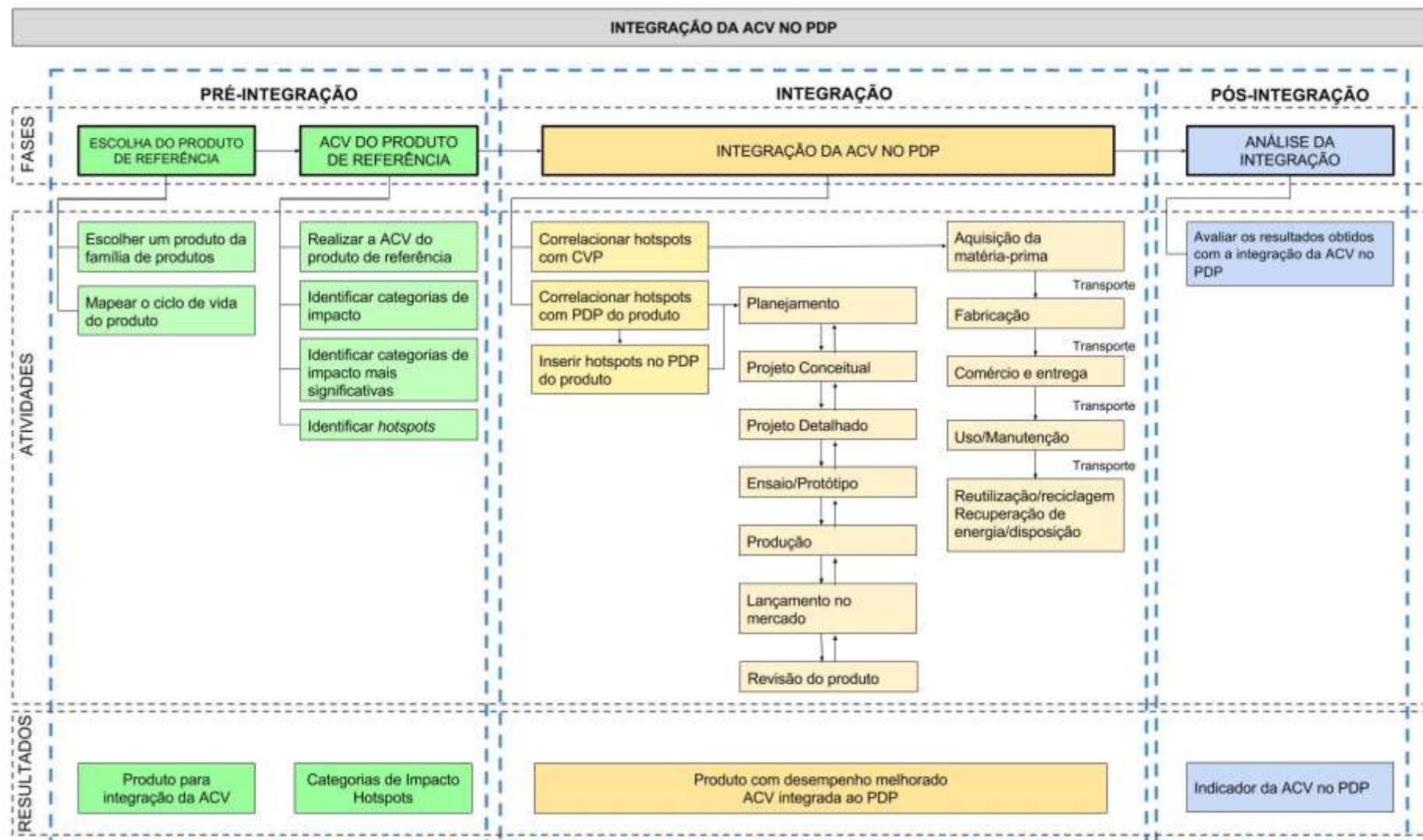
O objetivo de considerar a ACV no PDP é auxiliar na identificação de potenciais de melhoria ambiental e na definição de metas ambientais, além de, possibilitar o desenvolvimento de novas estratégias para o produto.

De modo geral, a metodologia sugerida para integração da ACV no PDP é realizada em três macro fases: Pré-integração, Integração e Pós-integração. Essas macro fases são constituídas por quatro fases: escolha do produto de referência, ACV do produto de referência, integração da ACV no PDP e análise da integração da ACV no PDP. Sendo que cada fase apresenta atividades específicas a serem realizadas.

A estrutura da metodologia proposta é apresentada de modo genérico e flexível o que possibilita sua aplicação em diferentes processos, podendo ser adaptada as características e necessidades das organizações.

A seguir é apresentado uma descrição de cada macro fase e suas respectivas fases e atividades.

Figura 33 - Abordagem metodológica para integração da ACV no PDP



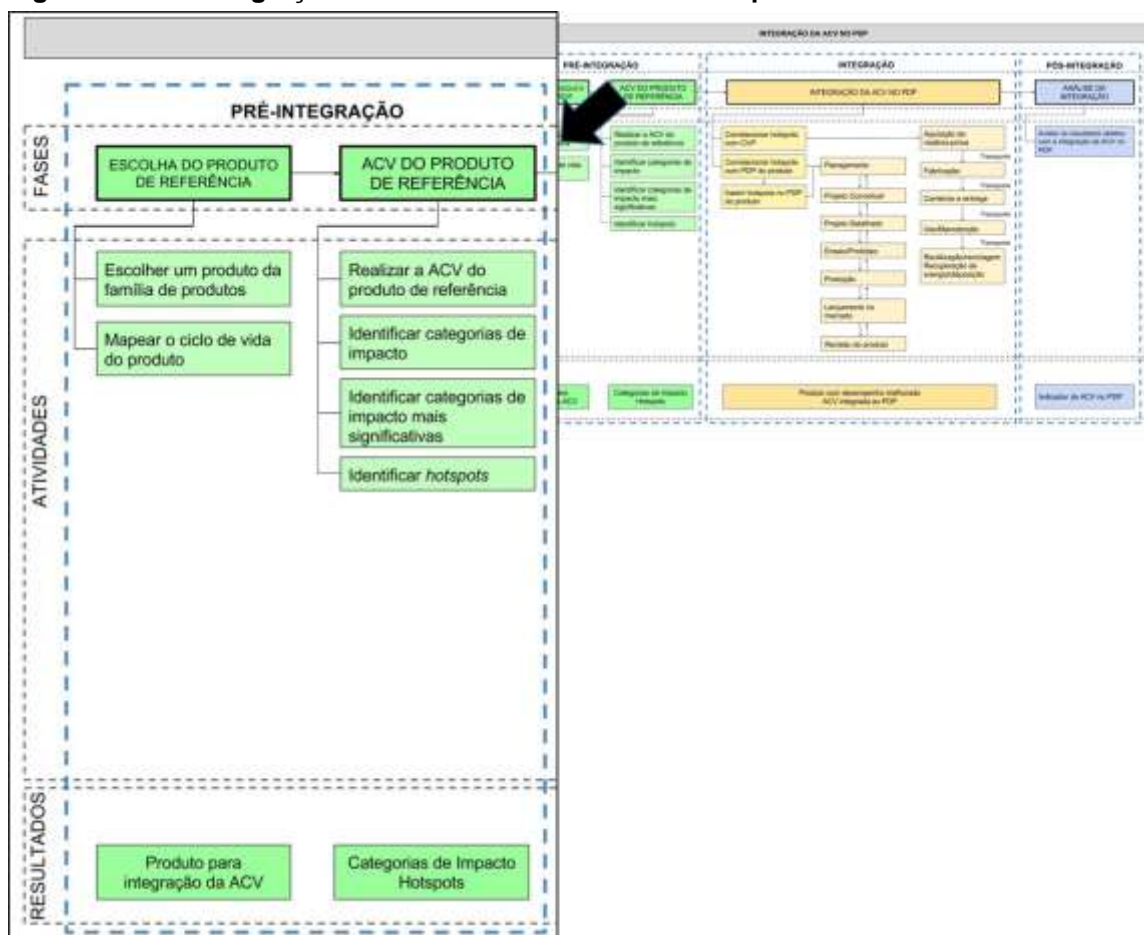
Fonte: Autoria própria



### 6.1.1 Pré-integração

A pré-integração consiste nas atividades iniciais necessárias para a integração da ACV no processo de desenvolvimento do produto. Os passos para a pré-integração são apresentados em destaque na Figura 34.

**Figura 34 - Pré-integração da ACV no desenvolvimento de produto**



Fonte: Autoria própria

A primeira fase tem início com a escolha de um produto de referência. Este produto de referência é definido dentre os produtos que compõe a família de produtos da empresa.

Neste estudo, a família de produtos é definida como um conjunto de produtos cujo a ACV compartilha um comportamento comum e, portanto, pode ser comparada de alguma maneira prática (COLLADO-RUIZ e OSTAD-AHMAD-GHORABI, 2010). Assim, ao definir um produto de referência é possível identificar um impacto ambiental alvo para melhoria no PDP de um novo produto. O produto de referência servirá, então, como ponto de partida para a integração da ACV ao PDP.

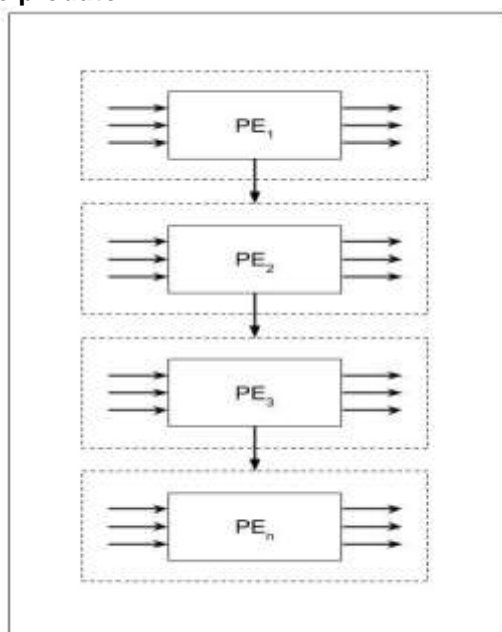
Para isso, o produto de referência deve ser bem reconhecido e caracterizado. Suas características são definidas considerando elementos como, nível tecnológico que o produto representa, aspectos estruturais (tipo de materiais, peso, etc.) e os aspectos de usabilidade (durabilidade, funcionalidade, consumo de energia, etc.) (LEWANDOWSKA e KURCZEWSKI, 2010).

O produto de referência também pode ser definido, no caso de um produto totalmente novo, por meio de uma busca fora da empresa, por exemplo, um produto que represente a melhor tecnologia disponível (LEWANDOWSKA e KURCZEWSKI, 2010).

Depois de definido um produto de referência, a segunda atividade desta fase, consiste em fazer o mapeamento do ciclo de vida do produto de referência, como preparação para a próxima fase.

Mapear o ciclo de vida do produto consiste em descrever o sistema do produto identificando todos os processos elementares (PE) e suas inter-relações, assim como, as entradas e saídas relacionadas, conforme apresentado de forma genérica na Figura 35.

**Figura 35 - Exemplo genérico de um sistema de produto**



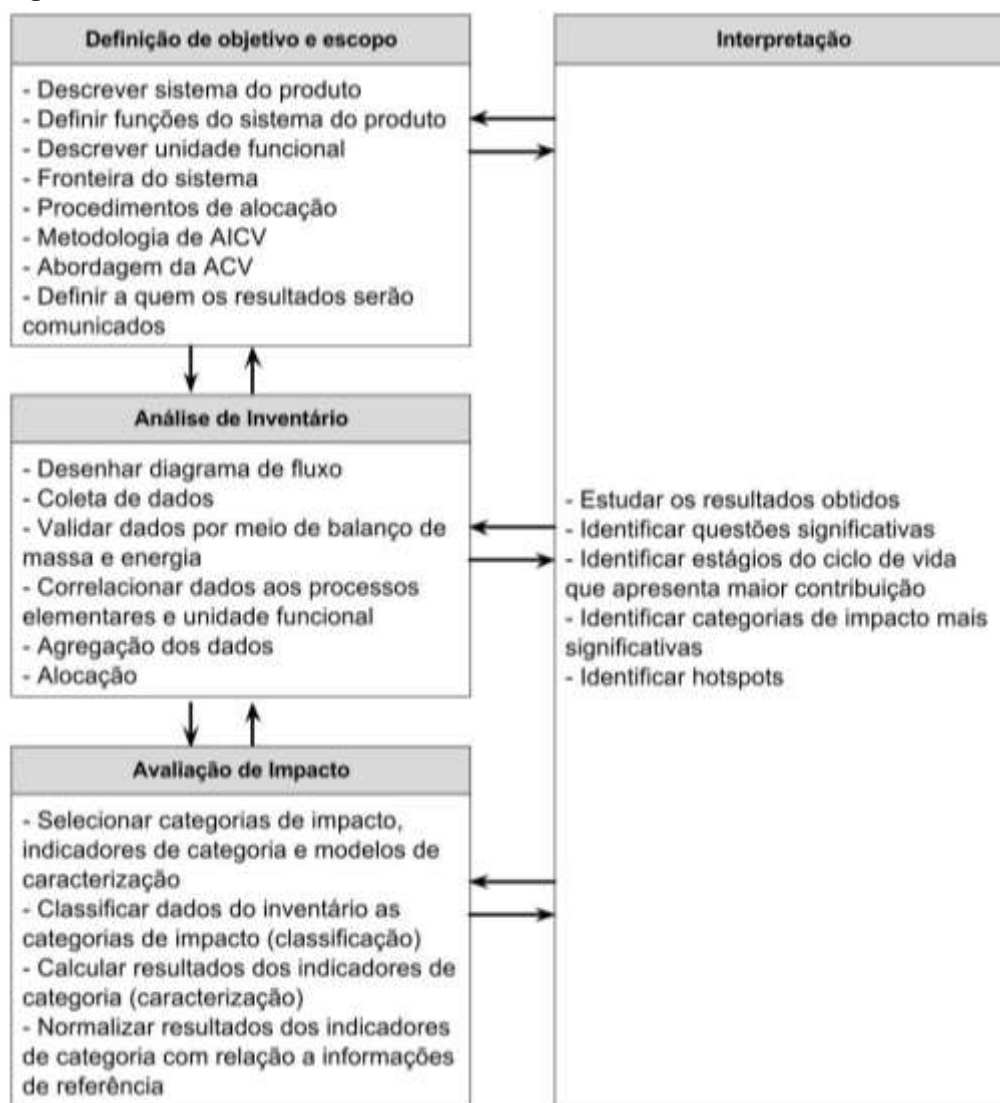
**Fonte: Autor**

A abordagem do ciclo de vida é empregada para auxiliar a definir diretrizes para o projeto, identificando aspectos e impactos ambientais pertinentes durante o ciclo de vida completo do produto. Considerar todo o ciclo de vida do produto

durante o desenvolvimento ajuda a garantir, por exemplo, que materiais não sejam desconsiderados de forma arbitrária, que seja levado em consideração todas as características ambientais do produto e que os impactos ambientais não sejam deslocados de uma fase do ciclo de vida para outro (ABNT, 2004).

A segunda fase da Pré-integração consiste na ACV do produto de referência. A Figura 36 apresenta um resumo das atividades a serem realizadas em cada fase para a realização da ACV e, o capítulo 2 apresenta com mais detalhes algumas diretrizes para condução da ACV com base nas normas ISO 14040 e 14044 (ABNT, 2009a; ABNT 2009b). Dentre as atividades a serem realizadas, destaca-se a definição da unidade funcional e fronteiras do sistema, que serão de extrema importância para a condução da ACV com objetivo de empregar os resultados no PDP.

**Figura 36 - Resumo das atividades a serem realizadas na ACV**



Fonte: Adaptado de ABNT (2009a) e ABNT (2009b)

A ACV tem como objetivo identificar as categorias de impacto (CI), tais como, alterações climáticas, depleção da camada de ozônio e eutrofização, relacionadas ao ciclo de vida do produto e as CI mais significativas, ou seja, aquelas que são mais sensíveis a melhoria de desempenho. Este processo permite identificar os *hotspots* que servirão de base para a integração da ACV no PDP propriamente dita. Os *hotspots* são os principais contribuidores para o impacto ambiental, isto é, são os elementos (processos, materiais, emissões, etc.) que são os principais responsáveis pelo impacto ambiental e representam pontos potenciais de melhoria.

Identificar os *hotspots* e as categorias de impacto mais relevante para o produto também pode ser feito com dados da literatura e *benchmarking* para o caso de um produto novo para a empresa (NG, 2016a).

Quando se trata da ACV para o desenvolvimento de produto a abordagem consequencial é mais indicada. Neste caso, a adoção de um método que integre a abordagem *midpoint* e *endpoint* pode ser mais interessante, pois, as categorias de impacto identificadas estão diretamente relacionadas ao método adotado para AICV. Uma apresentação dos métodos para AICV são apresentados no item 2.1.3.1 deste estudo. Dentre os métodos existentes este estudo aborda a aplicação do método Recipe que foi atualizado para a versão Recipe 2016. No entanto outros métodos podem ser aplicados, assim como a combinação de mais de um método pode ser empregada.

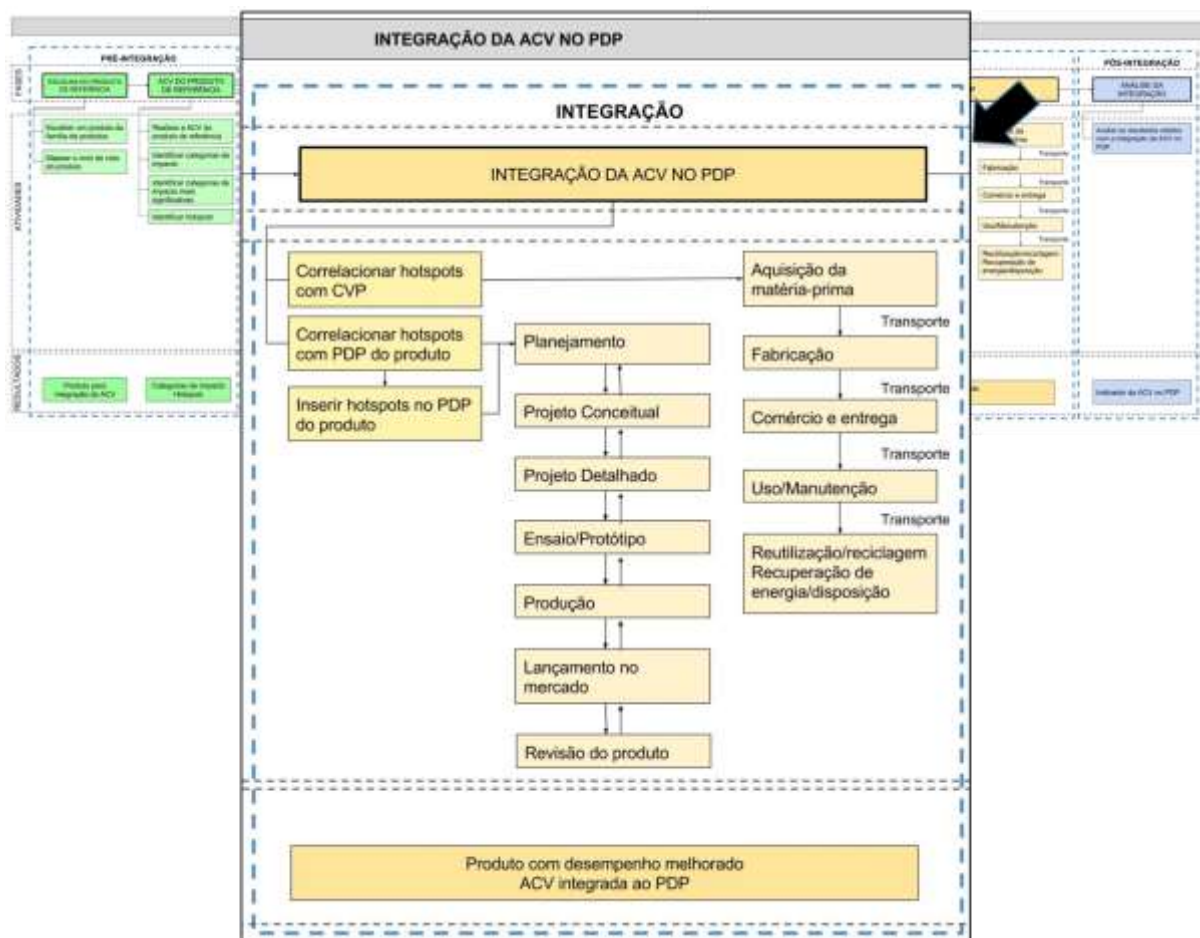
Como resultados desta macro fase, tem-se então um produto de referência que servirá de base para a integração da ACV e as categorias de impacto que mais contribuem para o impacto total do produto e seus respectivos *hotspots*.

A ACV realizada nesta fase será considerada e atualizada durante todas as fases do PDP realizadas na macro fase de Integração.

### 6.1.2 Integração

Nesta macro fase os resultados obtidos na Pré-integração são correlacionados com o ciclo de vida do produto (CVP) e com as fases do PDP visando alcançar melhorias no desempenho ambiental do produto. O PDP é reavaliado considerando a influência dos resultados da ACV nas fases do PDP. A Figura 37 apresenta os passos para a integração da ACV no PDP.

Figura 37 - Integração da ACV no CVP e PDP

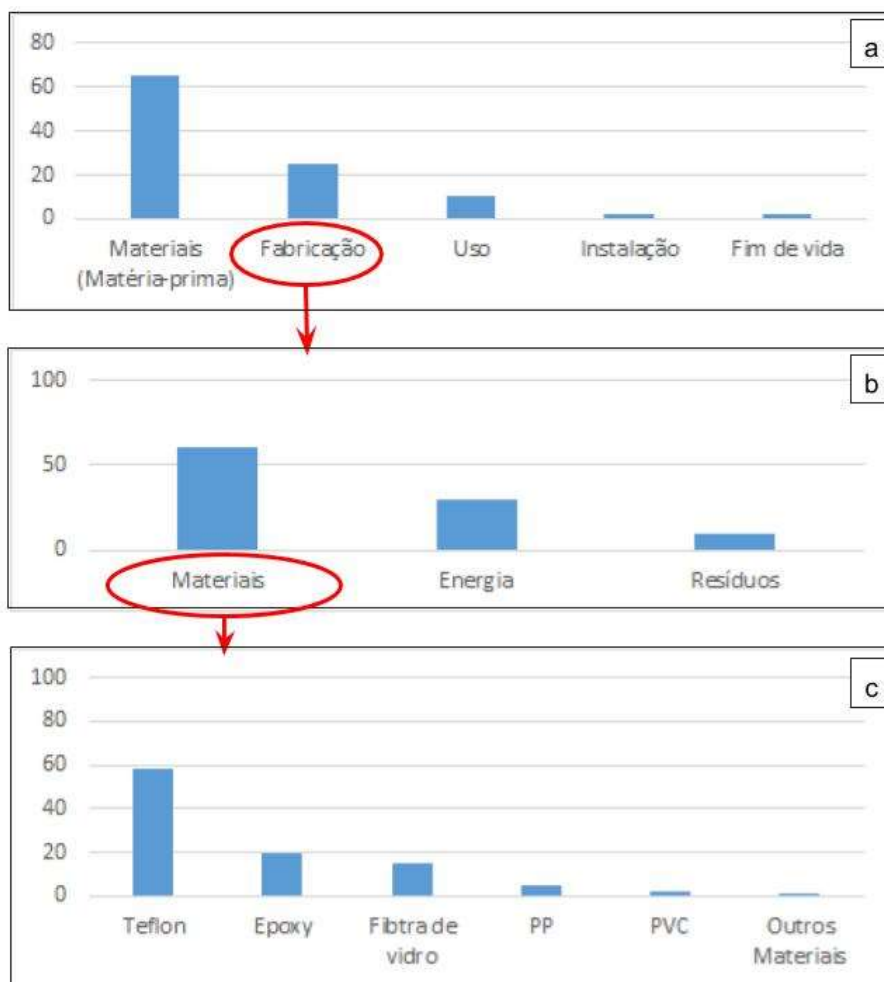


Fonte: Autor

A primeira atividade desta fase consiste em correlacionar os *hotspots* encontrados com o CVP. Os *hotspots* são identificados em duas dimensões, primeiro ao longo de todo o ciclo de vida do produto e, segundo, dentro de cada fase do ciclo de vida (aquisição de matéria prima, produção, transporte, uso e disposição). Um exemplo é apresentado na Figura 38. Este processo é facilmente realizado com o apoio dos softwares para ACV.

A Figura 38 (a) representa a contribuição para a categoria de impacto de mudança climática (CO<sub>2</sub>-eq) relacionada ao ciclo de vida de uma lamina de turbina eólica. Como pode ser observado, os hotspots que mais contribuem para esta categoria de impacto são os materiais (matéria-prima utilizada) e o processo de fabricação do produto. Explorando a fase de fabricação (Figura 38 (b)) nota-se que os principais contribuidores são os materiais e consumo de energia. Na Figura 38 (c) pode-se identificar os materiais que mais contribuem para o impacto da fabricação.

**Figura 38 - Exemplo de hotspots relacionados ao ciclo de vida do produto**



**Fonte: Adaptado de Bonou, Olsen e Hauschild (2015)**

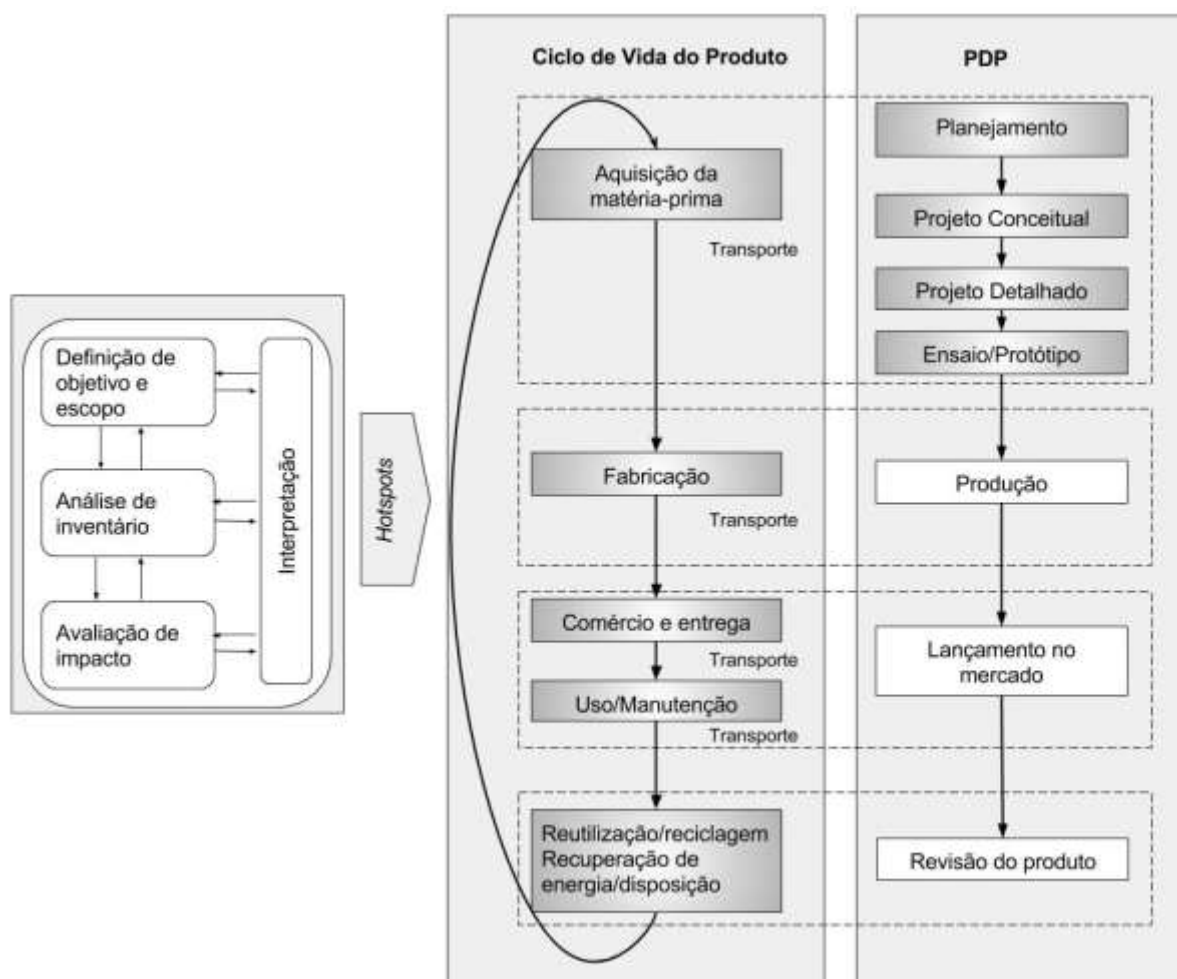
Esta análise indica quais são as principais áreas referentes ao ciclo de vida do produto que necessitam de melhorias e que deverão ser consideradas no PDP, com intuito de desenvolver um produto com características melhores.

Os *hotspots* identificados fornecerão a base científica para a definição de metas ambientais na fase de planejamento (BONOU, 2015).

A segunda atividade consiste em correlacionar os *hotspots* com o PDP do produto. Este processo consiste em identificar as fases do PDP que tem maior influência para minimizar o impacto causado pelos *hotspots*.

Um esquema genérico da correlação dos *hotspots* com o CVP e o PDP é apresentado na Figura 39.

Figura 39 - Correlação genérica da ACV, CVP e PDP



Fonte: Elaborado com base em ABNT (2009a) e ABNT (2004)

Como pode ser observado, os *hotspots* originados a partir da ACV do produto de referência estão correlacionados com as fases do ciclo de vida do produto que de alguma forma se relacionam ao PDP. As decisões tomadas nas fases iniciais do PDP terão grande influência em todo o CVP. Como por exemplo, na fase de aquisição de matéria-prima, pois, nas fases iniciais do PDP são definidas as características do produto, assim como seus componentes, que determinarão em grande parte o perfil ambiental do produto.

Uma matriz de correlação simples pode ser empregada para identificar em que ponto do PDP as melhorias considerando os *hotspots* podem ser indicadas e efetuadas. O Quadro 15 apresenta um exemplo genérico de uma matriz de correlação da ACV com o PDP.

Quadro 15 - Matriz genérica de correlação da ACV com PDP

Características da ACV		Fases do PDP					
CVP	Aspectos Ambientais/ <i>Hotspots</i>	Planejamento	Projeto Conceitual	Projeto Detalhado	Ensaio/ Protótipo	Produção Lançamento no mercado	Revisão do Produto
Aquisição da matéria-prima	<i>Hotspots</i> <sub>1</sub>	✓	✓	✓			
	<i>Hotspots</i> <sub>2</sub>	✓	✓	✓			
	<i>Hotspots</i> <sub>n</sub>	✓	✓	✓			
Fabricação	<i>Hotspots</i> <sub>1</sub>		✓	✓	✓		
	<i>Hotspots</i> <sub>2</sub>			✓	✓	✓	
	<i>Hotspots</i> <sub>n</sub>			✓	✓	✓	
Comércio e Entrega	<i>Hotspots</i> <sub>1</sub>					✓	✓
	<i>Hotspots</i> <sub>n</sub>					✓	✓
Uso/ Manutenção	<i>Hotspots</i> <sub>1</sub>					✓	
	<i>Hotspots</i> <sub>n</sub>			✓		✓	
Reutilização/ Reciclagem	<i>Hotspots</i> <sub>1</sub>			✓			
	<i>Hotspots</i> <sub>n</sub>			✓			✓

Fonte: Autor

As correlações identificadas devem ser consideradas dentro das fases do processo de desenvolvimento. Sendo assim, a terceira atividade consiste em inserir os *hotspots* no PDP. Cada fase do PDP deve considerar as categorias de impacto significativas e os *hotspots* com finalidade de orientar o desenvolvimento de novas estratégias para o produto.

A Figura 40 apresenta um resumo das atividades a serem realizadas em cada fase do PDP. Essas atividades são desenvolvidas em seis fases de desenvolvimento do produto de forma interativa. Deste modo sempre que necessário pode-se voltar para a fase anterior.





os *hotspots* identificados anteriormente. Como atuar sobre esses *hotspots* para melhorar o desempenho ambiental é um ponto importante.

As considerações ambientais referentes ao ciclo de vida do produto devem ser consideradas de forma integrada as demais estratégias do PDP da empresa.

A partir dos resultados da ACV uma análise dos pontos fortes e fracos, oportunidades e ameaças (SWOT) relacionados ao ciclo de vida do produto pode ser realizada. Além de outros fatores, as fraquezas ou pontos fracos dizem respeito aos impactos ambientais mais significativos causados pelo produto, representam as CI e *hotspots* que devem ser melhorados/modificados. Os pontos fortes, os aspectos e impactos de menor contribuição para o impacto ambiental total do produto. As oportunidades são as possíveis soluções para melhorar o perfil ambiental do produto. E, as ameaças podem representar, por exemplo, as trocas compensatórias entre as categorias de impacto, a elevação do custo do produto e a consequente redução do número de vendas, as dificuldades e limitações da empresa para a implantação das melhorias. Um exemplo de um quadro genérico para análise SWOT com base na ACV é apresentado na Figura 41.

**Figura 41 - Análise SWOT com base na ACV e CVP**

	Fatores positivos	Fatores negativos
Fatores internos	<p><b>Forças</b></p> <p>Categorias de impacto e hotspots de menor contribuição</p>	<p><b>Fraquezas</b></p> <p>Categorias de impacto e hotspots significativos</p>
Fatores externos	<p><b>Oportunidades</b></p> <p>Soluções para melhoria do perfil ambiental do produto</p>	<p><b>Ameaças</b></p> <p>Dificuldades e limitações para a implantação das melhorias</p>

**Fonte: Autor**

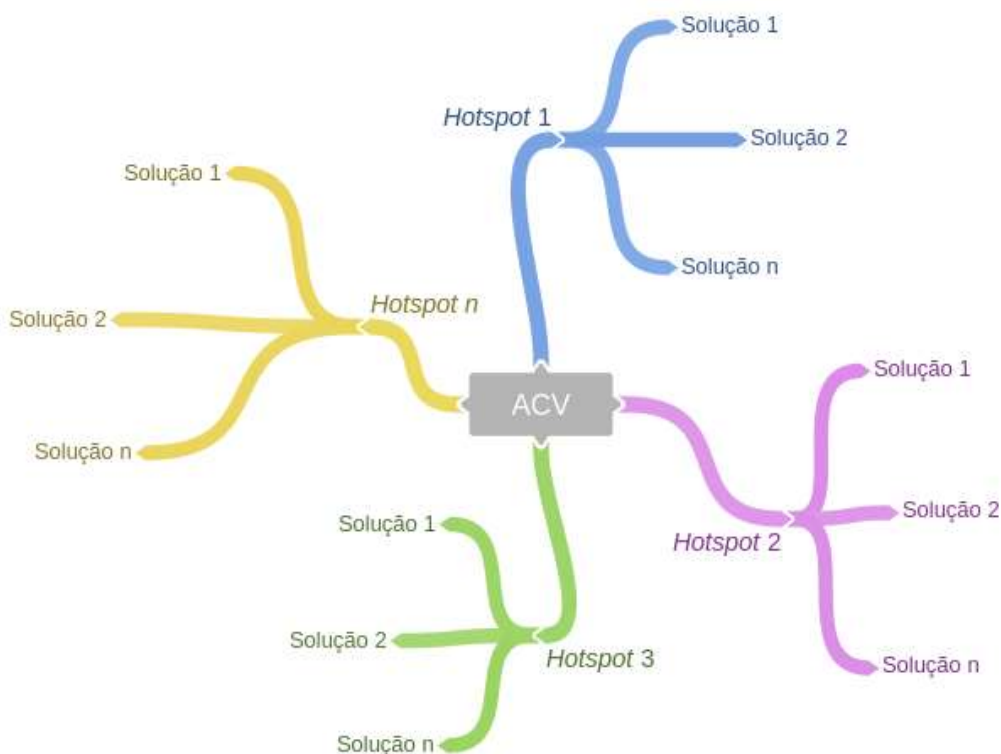
Esta análise permite obter uma visão geral da situação e é importante para orientar os passos do PDP considerando os resultados da ACV. As abordagens para melhorias do produto devem considerar principalmente os “pontos fracos” atuais e as oportunidades existentes. Algumas abordagens foram apresentadas no Quadro

(p. 75), assim como algumas estratégias e diretrizes para concepção ecológica foram apresentadas no Quadro 6 (p.68). Dentre as abordagens definidas também pode ser incluída a abordagem da inovação. As oportunidades de melhoria podem resultar em soluções inovadoras para o produto.

As soluções para o produto podem ser identificadas com o auxílio e elaboração de um mapa mental juntamente com uma técnica para geração de ideias como *brainstorming* ou até mesmo com uso de um *Brainwriting* ou *benchmarking* ambiental. As soluções encontradas para melhoria do produto podem ocorrer em vários níveis, nos componentes do produto, no próprio produto ou no sistema do produto, conforme cita a ISO 14062 (ABNT, 2004).

Um mapa mental é uma gravação visual de uma sessão de brainstorming. O centro de um mapa mental contém a função geral ou objetivo da sessão de brainstorming. Ideias e possíveis soluções são extraídas do centro e agrupadas em conjuntos de conceitos semelhantes (TELENKO et al, 2016). Um exemplo de mapa mental genérico para identificação de soluções com base na ACV é apresentado na Figura 42.

**Figura 42 - Exemplo de mapa mental para identificar possíveis soluções para o produto**



**Fonte: Autor**

Neste caso, no centro do mapa mental estão os resultados da ACV (*hotspots*) e as ideias geradas na busca por soluções aos problemas, considerando as abordagens definidas, nas ramificações.

A partir destas análises podem ser definidos novos requisitos ambientais para o produto que serão integrados ao PDP. Os requisitos ambientais são definidos fazendo indicação do estágio do ciclo de vida que apresenta maior contribuição para o impacto ambiental e avaliando os potenciais de melhoria.

Os resultados desta fase consistem numa lista de ideias de soluções e requisitos para o produto com base no CVP.

#### b) Projeto conceitual

Na fase de projeto conceitual as soluções encontradas para o produto são analisadas em detalhes e uma ou mais soluções que atendam aos requisitos ambientais são definidas.

Nesta fase pode ser realizada a elaboração de cenários para escolher a melhor solução para o produto. A elaboração de cenários serve para avaliar as melhorias obtidas para as soluções do produto, e auxiliar no apoio a tomada de decisão. Neste caso pode ser feito uso de base de dados para obtenção dos dados necessários.

A escolha da solução para o produto deve considerar, além dos requisitos ambientais, outras características do produto, como por exemplo, os aspectos de durabilidade e funcionalidade.

A solução do produto é então comparada com o produto de referência por meio da ACV para verificar as melhorias ocorridas no perfil ambiental. Também devem ser analisadas as trocas compensatórias que podem ocorrer, por exemplo, no caso de substituição de uma matéria-prima. O potencial inovador do produto também pode ser levado em consideração.

Os requisitos ambientais definidos na fase anterior são então consolidados como especificações do produto. O resultado desta fase é o conceito do projeto que leva em consideração a ACV.

#### c) Projeto detalhado

Na fase de projeto detalhado os resultados da fase anterior são transformados em especificações finais do produto e os conceitos são desenvolvidos.

Um ponto importante desta fase é cumprir todos os requisitos e especificações relacionados ao aspecto ambiental do produto. Sendo assim, como resultado desta fase tem-se a solução do projeto.

d) Ensaio/Protótipo

Nesta fase os resultados da ACV são revisados e é verificado se os objetivos e as abordagens e os requisitos estabelecidos para o produto foram atingidos.

Neste estágio, os aspectos ambientais do produto podem ser avaliados seguindo duas linhas. Sendo a primeira para verificar se a implementação realista de requisitos ambientais foi alcançada e, a segunda, se necessário, para permitir adaptações e mudanças no projeto (ABNT, 2004). Como resultado desta fase tem-se o protótipo do produto com perfil ambiental melhorado considerando os resultados obtidos na ACV.

e) Produção/Lançamento no mercado

Nesta fase uma apresentação e comunicação sobre as características e os benefícios do produto podem ser utilizadas para incentivar a procura e compra do produto (ABNT, 2004). Deste modo, os aspectos ambientais relevantes do produto podem ser utilizados como base para abordagens de marketing.

Informações ambientais sobre o produto com base na ACV podem então, ser publicadas.

f) Revisão do produto

Nesta fase uma revisão final dos resultados da integração da ACV no PDP é avaliada. Nesta perspectiva, uma avaliação para verificar se as expectativas e benefícios em relação a aplicação da ACV foram alcançadas é realizada.

As informações obtidas podem ser empregadas para melhorar o PDP e a integração da ACV do produto ou de futuros produtos, realimentando a fase de planejamento.

Nesta fase é incluído também as considerações apresentadas no item seguinte, referente a macro fase de pós-integração.

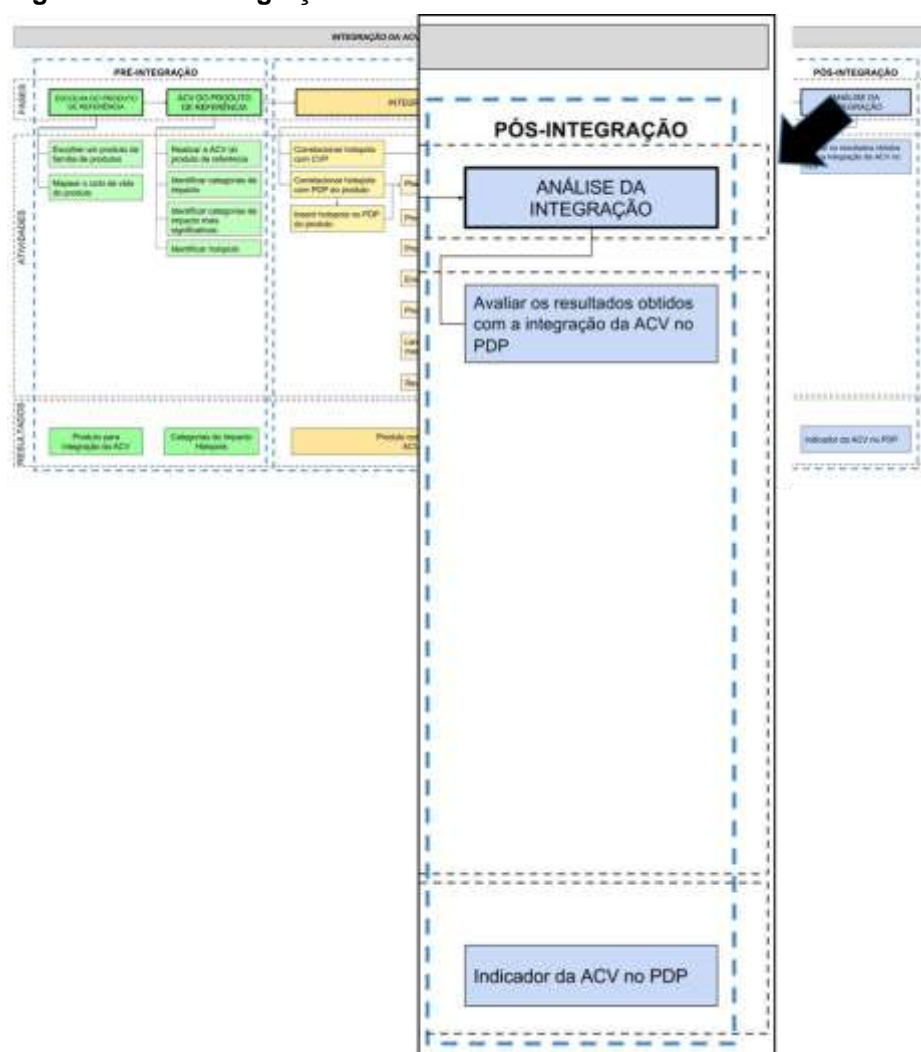
Usar um produto de referência diminui as limitações da falta de dados geralmente ocorridas no início do processo de desenvolvimento e possibilita a consideração da ACV no PDP, de forma simples e prática. Sendo que, a atualização

dos dados para o novo produto é realizada em grande parte com base nos dados já existentes da ACV do produto de referência.

### 6.1.3 Pós-integração

Esta macro fase diz respeito a avaliação dos resultados obtidos com a integração da ACV no PDP, conforme Figura 43.

**Figura 43 - Pós-Integração da ACV no PDP**



**Fonte: Autor**

De modo geral, a avaliação é realizada comparando-se o perfil ambiental do produto de referência com o perfil ambiental do novo produto desenvolvido. Para isso, utiliza-se uma matriz de avaliação (conforme apresentado no item 5.2.2 da metodologia) constituída pelas categorias de impacto avaliadas e as fases do ciclo de vida do produto. As categorias de impacto são selecionadas através da opção de

adoção do método de avaliação de impacto considerado na ACV realizada na macro fase de Pré-integração. Por exemplo, no Quadro 16 foi utilizado as categorias de impacto originadas pelo método Recipe 2016.

**Quadro 16 - Exemplo de Matriz de avaliação elaborada de acordo com o método Recipe 2016**

Categorias de impacto	Fases do Ciclo de Vida do Produto				
	Aquisição da matéria-prima	Fabricação	Comércio e entrega	Uso/Manutenção	Reutilização/Reciclagem/Recuperação de energia/disposição
Formação de matéria particulada	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
Formação de oxidantes fotoquímicos: saúde humana	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5
Radiação ionizante	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5
Depleção de ozônio	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5
Toxicidade humana (cancerígeno)	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5
Toxicidade humana (não cancerígeno)	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5
Mudança climática	7.1	7.2	7.3	7.4	7.5
Uso da água	8.1	8.2	8.3	8.4	8.5
Ecotoxicidade de água doce	9.1	9.2	9.3	9.4	9.5
Eutrofização de água doce	10.1	10.2	10.3	10.4	10.5
Formação oxidante fotoquímica: ecossistemas terrestres	11.1	11.2	11.3	11.4	11.5
Ecotoxicidade terrestre	12.1	12.2	12.3	12.4	12.5
Acidificação terrestre	13.1	13.2	13.3	13.4	13.5
Uso da terra/transformação	14.1	14.2	14.3	14.4	14.5
Ecotoxicidade marinha	15.1	15.2	15.3	15.4	15.5
Esgotamento de recursos minerais	16.1	16.2	16.3	16.4	16.5
Esgotamento de recursos fósseis	17.1	17.2	17.3	17.4	17.5

**Fonte: Autor**

Uma avaliação par a par é realizada para cada categoria de impacto considerando as melhorias obtidas no ciclo de vida do produto desenvolvido em relação ao produto de referência. Esta comparação tem como base os cenários obtidos na fase de projeto conceitual.

Para determinar o valor de cada elemento da matriz um protocolo com os itens que devem ser avaliados é aplicado. Este protocolo contém uma questão para avaliação de cada par que integra a matriz. Uma pontuação de 0 a 4 é atribuída, onde 0 significa que não houve melhoria e 4 significa que houve melhoria muito significativa. Conforme escala apresentada no item 5.2.2 da metodologia.

No Quadro 17 é apresentado, como exemplo, uma parte do protocolo proposto para avaliação com um *checklist* referente a categoria de impacto “formação de matéria particulada”. O Protocolo para todas as categorias pode ser visualizado no Apêndice A.

**Quadro 17 - Exemplo de protocolo de avaliação**

Protocolo de avaliação da integração da ACV ao PDP							
Categorias de impacto	Par	Checklist	Pontuação atribuída				
Formação de matéria particulada	1.1	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Formação de matéria particulada na fase de Aquisição de Matéria-prima?	0	1	2	3	4
	1.2	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Formação de matéria particulada na fase de Fabricação?	0	1	2	3	4
	1.3	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Formação de matéria particulada na fase de Comércio e Entrega?	0	1	2	3	4
	1.4	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Formação de matéria particulada na fase de Uso e Manutenção?	0	1	2	3	4
	1.5	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Formação de matéria particulada na fase de Reutilização/Reciclagem/Disposição?	0	1	2	3	4

Fonte: Autor

Após obtenção dos valores para cada item da matriz, uma pontuação geral pode ser calculada pela soma de todos os elementos da matriz. O Quadro 18 apresenta uma matriz elaborada com dados hipotéticos para exemplificação.



**Quadro 18 - Matriz de avaliação da integração da ACV ao PDP**

Categorias de impacto	Fases do Ciclo de Vida				
	Aquisição matéria-prima	Fabricação	Comércio e entrega	Uso/Manutenção	Reutilização/Reciclagem/Recuperação de energia/disposição
Formação de matéria particulada	2	0	1	2	3
Formação de oxidantes fotoquímicos: saúde humana	4	1	3	3	4
Radiação ionizante	2	3	2	3	1
Depleção de ozônio	3	0	4	3	2
Toxicidade humana (cancerígeno)	2	3	3	3	2
Toxicidade humana (não cancerígeno)	3	3	1	0	3
Mudança climática	0	4	3	3	3
Uso da água	4	2	3	0	1
Ecotoxicidade de água doce	2	0	2	3	3
Eutrofização de água doce	1	3	3	4	3
Formação oxidante fotoquímica: ecossistemas terrestres	2	3	2	4	2
Ecotoxicidade terrestre	3	4	0	3	1
Acidificação terrestre	2	3	4	2	0
Uso da terra/transformação	4	1	3	3	4
Ecotoxicidade marinha	2	4	3	0	1
Esgotamento de recursos minerais	2	3	4	3	2
Esgotamento de recursos fósseis	4	2	3	2	4

**Fonte: Autor**

Como a matriz apresentada possui 17 linhas e 5 colunas totalizando 85 células com valores de 0 a 4, o valor máximo que pode ser obtido na somatória é 340. Assim, uma avaliação comparativa pode ser realizada entre o valor máximo e o valor obtido.

No exemplo hipotético citado o valor da somatória dos itens avaliados, obtido pela matriz, é 205. Assim, a avaliação geral alcançada para a melhoria do impacto do produto desenvolvido em relação ao produto de referência, obtida pela integração da ACV no PDP, é de 205 pontos de um total de 340.

A pontuação geral obtida não é estritamente uma medida de desempenho, mas uma estimativa da significância de melhoria alcançada com a integração da ACV ao PDP.

Transformando este resultado em um grau de melhoria (GM) alcançada, aplicando a Equação 6 com base nos resultados do Quadro 18, tem-se para o exemplo um GM de 6,03 de um GM máximo de 10. Quanto mais próximo de 10 o valor obtido para o GM, mais significativa foram as melhorias implementadas pela integração da ACV ao PDP.

$$GM = (\sum \text{valor obtido na matriz}) / (\sum \text{pontuação máxima da matriz}) \times 10 \quad (6)$$

Deste modo, a matriz apresentada fornece uma avaliação global simplificada sobre melhoria alcançada pelo produto com a integração da ACV no PDP.

É importante destacar que, o número de categorias avaliadas na matriz depende do objetivo e escopo traçado para a ACV. Deste modo, as categorias de impacto e as fases do ciclo de vida do produto que compõe a matriz e o protocolo para avaliação podem ser adaptados conforme as necessidades de aplicação. Com isso, um número reduzido de categorias de impacto pode ser adotado para uma avaliação simplificada do ciclo de vida (ACVs) ou, a combinação de mais de um método para AICV pode ser adotado. Neste caso, a matriz poderá ser formada por um número diferenciado e reduzido de elementos que compõe as categorias de impacto e as fases do ciclo de vida do produto. Além disso, pode ser considerado a inserção de pesos para as categorias ou fases que forem consideradas mais relevantes para a contribuição do impacto causado pelo produto.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo geral propor uma metodologia para integração da ACV ao processo de desenvolvimento de produto na indústria. Para que esse objetivo pudesse ser atingido, alguns objetivos específicos foram desenvolvidos.

O primeiro objetivo específico envolveu a determinação de um modelo de desenvolvimento de produto para a integração da ACV. Este objetivo foi alcançado por meio de uma revisão de literatura sobre desenvolvimento de produto, onde, foram analisados alguns modelos de PDP e optou-se por adotar o modelo de projeto e desenvolvimento de produto apresentado pela ISO/TR 14062. Este modelo foi escolhido por se tratar de um modelo genérico de desenvolvimento o que facilita sua adaptação ao PDP de diferentes organizações.

Em resposta ao segundo objetivo específico foi realizado uma avaliação do PDP adotado, onde foi identificado as fases do desenvolvimento de produto que a ACV pode ser inserida. Nesta avaliação, constatou-se que a ACV apresentou aplicação em todas as fases de desenvolvimento, fornecendo informações que podem ser utilizadas como apoio a tomada de decisão. Na fase de planejamento, basicamente a ACV pode ser empregada para identificar estratégias de melhorias, com base nos *hotspots*. Na fase de projeto conceitual, para auxiliar na escolha da melhor solução (estratégia) para o produto por meio da elaboração de cenários. Na fase de projeto detalhado para identificar melhorias no desempenho ambiental do produto em relação ao produto de referência. Na fase de ensaio/protótipo para revisar se os objetivos e abordagens ambientais para o produto foram atingidas. Na fase de lançamento no mercado para fornecer base para publicar informações ambientais sobre o produto. E na fase de revisão do produto, para avaliar os resultados da integração da ACV ao PDP.

No que se refere ao terceiro objetivo específico que tratou de mapear as características da ACV que podem auxiliar o desenvolvimento de produto, foi considerado no estudo os resultados da ACV que dizem respeito ao potencial de impacto ambiental gerado pelas categorias de impacto significativas obtidas na fase de AICV e seus *hotspots*.

Para alcançar o quarto objetivo específico, de integrar os resultados da ACV ao PDP, em cada fase do PDP foram consideradas as categorias de impacto significativas e os *hotspots* para identificar soluções para o produto, definir abordagem e requisitos para o produto que orientam todo o PDP.

Por fim, o objetivo geral de “propor uma metodologia para integração da ACV ao processo de desenvolvimento de produto” foi atingido com a estruturação da metodologia para integração da ACV ao PDP. A metodologia proposta leva em consideração o perfil ambiental obtido pela ACV para um produto de referência e posteriormente os resultados originados para as categorias de impacto são inseridos no PDP, para desenvolvimento de um novo produto com características melhores.

O objetivo da metodologia proposta é orientar a integração da ACV ao PDP, apresentando uma forma simples para incorporação da ACV ao PDP. A característica genérica da metodologia, permite sua aplicação em diferentes organizações. Podendo ser inserido no PDP já estruturado na empresa, como forma de otimizar o processo e identificar novas oportunidades para o produto. Já, a matriz de avaliação proposta permite uma forma simples e rápida de avaliar os resultados obtidos com a integração da ACV ao PDP, fornecendo uma estimativa da significância das melhorias alcançadas em relação ao produto de referência.

As informações originadas por meio da ACV alinhadas ao longo do PDP pode ser um elemento-chave para introduzir de forma eficiente uma perspectiva de sustentabilidade ambiental no início do desenvolvimento do produto, possibilitando a organização alcançar resultados para a competitividade a longo prazo.

No entanto, apesar da relevância desta pesquisa algumas limitações podem ser citadas. A primeira se refere ao fato de a metodologia proposta não ter sido aplicada diretamente no PDP de uma empresa para testar sua aplicabilidade na prática. Outra, diz respeito a compensação entre as categorias não serem consideradas de forma direta na avaliação dos resultados obtidos com a integração da ACV no PDP. Uma terceira limitação está relacionada ao fato de não ser considerada a abordagem da inovação para avaliar as soluções encontradas para o produto na fase de projeto conceitual.

Porém, as limitações encontradas podem ser solucionadas em trabalhos futuros, como sugerido a seguir.

## 7.1 SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS

Com o desenvolvimento deste estudo algumas oportunidades para trabalhos futuros puderam ser identificadas, como:

- Aplicar a metodologia proposta no PDP em empresas para integrar a ACV no processo;
- Incluir a abordagem da inovação para avaliar as soluções encontradas para o produto;
- Inserir as abordagens LCC (Life Cycle Costing) e S-LCA (Social Life Cycle Assessment) para considerar a abordagem econômica e social da sustentabilidade.

## REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT ISO 14006:2014: Sistemas de gestão ambiental – Diretrizes para incorporar o ecodesign. Brasil, 2014.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT ISO/TR 14062: 2004: gestão ambiental – Integração de aspectos ambientais no projeto e desenvolvimento do produto. Brasil, 2004.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 14040:2009 Versão Corrigida: 2014: Gestão Ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. Brasil, 2009a.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 14044:2009 Versão Corrigida: 2014: Gestão Ambiental - Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e Orientações. Brasil, 2009b.

AGRAWAL, K. K.; JAIN, S.; JAIN, A. K.; JAIN, A. K.; DAHIYA, S. A life cycle environmental impact assessment of natural gas combined cycle thermal power plant in Andhra Pradesh, India. **Environmental Development**, v. 11, 2014.

ALLENBY, B. R. Implementing Industrial Ecology: The AT&T Matrix System. **Interfaces**, n. 3, 2000.

ASKHAM C. A, HANSEN O. L; GADE A. L; NERENG G; AASER C. P, CHRISTENSEN P. Strategy tool trial for office furniture. **International Journal of Life Cycle Assessment**, 17, 2012.

AZARIJAFARI, H.; AMMAR, Y.; MOURAD, B. A. Life cycle assessment of pavements: reviewing research challenges and opportunities. **Journal of Cleaner Production**, v. 112, n.4, 2016.

BALDASSARRI, C.; MATHIEUX, F.; ARDENTE, F.; WEHMANN, C.; DEESE, K. Integration of environmental aspects into R&D inter-organizational projects management: application of a life cycle-based method to the development of innovative windows. **Journal of Cleaner Production**, v. 112, n. 4, 2016.

BARAN, J. Redesign of steam turbine rotor blades and rotor packages - Environmental analysis within systematic eco-design approach. **Energy Conversion and Management**, v. 116, 2016.

BARE, J.C. Life cycle impact assessment research developments and needs. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v.12, n. 4, 2010.

BAUMANN, H.; BOONS, F.; BRAGD, A. Mapping the green product development field: engineering, policy and business perspectives. **Journal of Cleaner Production**, v.10, 2002.

BAUMANN, H.; TILLMAN, A.M. **Hitchhiker's Guide to LCA**. Studentlitteratur, Lund, Sweden, 2004.

BENINI, L.; SALA, S. Uncertainty and sensitivity analysis of normalization factors to methodological assumptions. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 21, n.2, 2016.

BLENGINI G. A; BUSTO M; FANTONI M; FINO D. Eco-efficient waste glass recycling: Integrated waste management and green product development through LCA. **Waste Management**, 32, 2012.

BOCKEN, N. M. P. et al. Development of a tool for rapidly assessing the implementation difficulty and emissions benefits of innovations. **Technovation**, v. 32, n. 1, p. 19-31, 2012.

BONOU, A.; OLSEN, S.I.; HAUSCHILD, M.Z. Introducing life cycle thinking in product development – A case from Siemens Wind Power. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, 64, 2015.

BOVEA, M.D.; PÉREZ-BELIS, V. A taxonomy of ecodesign tools for integrating environmental requirements into the product design process. **Journal of Cleaner Production**, v. 20, n.1, 2012.

BROEREN, M. L. M. et al. Early-stage sustainability assessment to assist with material selection: a case study for biobased printer panels. **Journal of Cleaner Production**, v. 135, p. 30-41, 2016.

BUCHERT, T.; NEUGEBAUER, S.; SCHENKER, S.; LINDOW, K.; STARK, R. Multi-criteria decision making as a tool for sustainable product development – Benefits and obstacles. **Procedia CIRP**, 26, 2015.

BUENO, C.; HAUSCHILD, M.Z.; ROSSIGNOLO, J.A.; OMETTO, A.R.; MENDES, N.C. Sensitivity analysis of the use of Life Cycle Impact Assessment methods: a case study on building materials. **Journal of Cleaner Production**, v.112, n.20, 2016.

BUTT, A. A. B.; TOLLER, SUSANNA; BIRGISSON, BJÖRN. Life cycle assessment for the green procurement of roads: a way forward. **Journal of Cleaner Production**, v.90, 2015.

CHAN, H. K. et al. An Extended Fuzzy-AHP Approach for the Evaluation of Green Product Designs. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 60, n. 2, p. 327-339, 2013.

CHAN, H. K.; WANG, X.; RAFFONI, A. An integrated approach for green design: Life-cycle, fuzzy AHP and environmental management accounting. **The British Accounting Review**, v. 46, n. 4, p. 344-360, 2014.

CHAN, H.K.; WANG, X.; WHITE, G.R.T.; YIP, N. An Extended Fuzzy-AHP Approach for the Evaluation of Green Product Designs. **Engineering Management IEEE**, v. 60, n. 2, 2013.

CHANG, D.; LEE, C.K.M.; CHEN, C.H. Review of life cycle assessment towards sustainable product development. **Journal of Cleaner Production**, v.83, 2014.

CHEHEBE, J. R. B. **Análise do ciclo de vida de produtos**: ferramenta gerencial da ISSO 14000. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1997.

CHENG, L. C. Caracterização da Gestão de desenvolvimento do produto: Delineando o seu contorno e dimensões básicas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO, 2., 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: USP, 2000. p, 1-10.

CHERUBINI, E.; RIBEIRO, P.T. Diálogos Setoriais Brasil e União Europeia Desafios e soluções para o fortalecimento da ACV no Brasil. Brasília: Ibct, 2015.



CHIANG T; CHE Z. H; WANG T. T. A design for environment methodology for evaluation and improvement of derivative consumer electronic product development. **Journal of Systems Science and Systems Engineering**, v. 20, 2011.

CHU, C. H.; SU, J. C. P.; CHEN, Y. T. A concurrent approach to reducing environmental impact of product development at the system design stage. **IEEE Transactions on Automation Science and Engineering**, v. 9, n. 3, p. 482-495, 2012.

COBUT, A.; BEAUREGARD, R.; BLANCHET, P. Reducing the environmental footprint of interior wood doors in non-residential buildings – part 2: ecodesign. **Journal of Cleaner Production**, v. 109, p. 247-259, 2015.

CODINHOTO, R. **Diretrizes para o planejamento e controle integrado dos processos de produção**. 2003. 162 f. Dissertação (Mestrado em engenharia civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Rio Grande do Sul, 2003.

COLLADO-RUIZ, D.; OSTAD-AHMAD-GHORABI, H. Fun theory: Standardizing functional units for product design. **Resources, Conservation and Recycling**, v.54, n.10, 2010.

COOPER, R. G. **Winning at New Products**: accelerating the process from idea to launch. Reading Massachusetts: Addison-Wesley Publishing, 1993.

COOPER, R.G. Perspective: the Stage-Gate® idea to launch process update, what's new, and NexGen systems. **The journal of product innovation management**, v. 25, n. 3, 2008.

CRUL, M.R.M., DIEHL, J.C., 2006. **Design for Sustainability**: A Practical Approach for Developing Economies. UNEP/Earthprint, Paris.

CURRAN, M.A. Life Cycle Assessment: a review of the methodology and its application to sustainability. **Current Opinion in Chemical Engineering**, v. 2, n.3, 2013.

DINSMORE, P. C.; BREWIN, J. C. **AMA**: Manual de gerenciamento de projetos. 2ª ed. Rio de Janeiro: Brasport, 2014.

DOMINGUES, A.R.; MARQUES, P.; GARCIA, R.; FREIRE, F.; DIAS, L.C. Applying Multi-Criteria Decision Analysis to the Life-Cycle Assessment of vehicles. **Journal of Cleaner Production**, v. 107, 2015.

ECOINVENT. The ecoinvent Database. 2014. Disponível em: Acesso em: 27 out. 2014.

EDDY, D. C. et al. A predictive modelling-based material selection method for sustainable product design. **Journal of Engineering Design**, v. 26, n. 10-12, p. 365-390, 2015.

EKMEKCI, I.; KOKSAL, M. Triz Methodology and an Application Example for Product Development. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 195, 2015.

ENSSLIN, S. R.; ENSSLIN, L.; LACERDA, R. T. O.; SOUZA, V. H. A. Disclosure of the State of the Art of Performance Evaluation Applied to Project Management. **American Journal of Industrial and Business Management**, v. 4, 2014.

EPA. **Life cycle assessment: principles and practice**. 2006. Disponível em: <[http://www.epa.gov/nrmrl/std/lca/pdfs/chapter1\\_frontmatter\\_lca101.pdf](http://www.epa.gov/nrmrl/std/lca/pdfs/chapter1_frontmatter_lca101.pdf)>. Acesso em: 22 jul. 2015.

FANG, K.; HEIJUNGS, R. Investigating the inventory and characterization aspects of footprinting methods: lessons for the classification and integration of footprints. **Journal of Cleaner Production**, v. 108, 2015.

FEHRENBACH, H.; GRAHL, B.; GIEGRICH, J.; BUSCH, M. Hemeroby as an impact category indicator for the integration of land use into life cycle (impact) assessment. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v.20, n.11, 2015.

GENÇ, E.; BENEDETTO, C.A.D. Cross-functional integration in the sustainable new product development process: The role of the environmental specialist. **Industrial Marketing Management**, v.50, 2015.

GMELIN, H.; SEURING, S. Determinants of a sustainable new product development. **Journal of Cleaner Production**, v. 69, 2014.

GOEDKOOOP, M.; HEIJUNGS, R.; HUIJBREGTS, M.; SCHRYVER, A.; STRUIJS, J.; ZELM, R.V. **ReCiPe 2008**: A life cycle impact assessment method which comprises

harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level. PRé Consultants, Amersfoort, 2013.

GOEPP, V.; ROSE, B.; CAILLAUD, E. Coupling reference modelling and performance evaluation for the effective integration of eco-design tools into the design process. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v. 27, n.3, 2014.

GRAEDEL, T. E.; ALLENBY, B.R.; COMRIE, P. R. Matrix Approaches to Abridged Life Cycle Assessment. **Environment Science & Technology**, v.29, n.3, 1995.

GREMYR, I.; SIVA, V.; RAHARJO, H.; GOH, T.N. Adapting the Robust Design Methodology to support sustainable product development. **Journal of Cleaner Production**, v. 79, 2014.

GUELERE FILHO, A. **Integração do ecodesign ao modelo unificado para gestão do processo de desenvolvimento de produto**. 2009. 242 f. Tese (Programa em engenharia de produção) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2009.

GUINÉ, J.B. **Handbook on Life Cycle Assessment: Operational Guide to the ISO Standards**. New York: Kluwer Academic Publishers. 2004.

GUINÉE, J. B.; GORÉE, M.; HUPPES, R. H. G.; KLEIJN. R.; KONING, A.; SLEESWIJK, L. O. A. W.; SUH, S.; HAES, H. A. U. **Handbook on life cycle assessment operational guide to the ISO standards**. Publisher: Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2001.

GUINÉE, J. B., REINOUT, H., GJALT, H., ZAMAGNI, A., MASONI, P., BUONAMICI, R., EKVALL, T., RYDBERG, T. Life cycle assessment: past, present, and future. **Environmental Science & Technology**, v. 45, n.1, p. 90-96, 2011.

GUINÉE, J.B. **Selection of Impact Categories and Classification of LCI Results to Impact Categories**. In: Hauschild, M.Z.; Huijbregts, M.A.J. Life Cycle Impact Assessment: LCA Compendium – The Complete World of Life Cycle Assessment. Springer: Netherlands, 2015.

HAUSCHILD, M.; GOEDKOOP, M.; GUINÉE, J.; HEIJUNGS, R.; HUIJBREGTS, M.; JOLLIET, O.; MARGNI, M.; SCHRYVER, AN DE.; HUMBERT; S.; LAURENT, A.; SERENELLA SALA; PANT, R. Identifying best existing practice for

characterization modeling in life cycle impact assessment. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v.18, n.3, 2013.

HELLWEG, S.; CANALS, L.M. Emerging approaches, challenges and opportunities in life cycle assessment. **Science**, v. 344, n. 6188, 2014.

HONDA, A. N. **O ecodesign por meio da avaliação do ciclo de vida no processo de desenvolvimento de produto**: uma proposta baseada em estudo de caso. 2014, 165f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Carlos, São Carlos, 2014.

HUANG, Y-C.; WU, Y-C. J. The effects of organizational factors on green new product success: Evidence from high-tech industries in Taiwan. **Management Decision**, v.48, 2010.

HUIJBREGTS, M. J. ReCiPe 2016: a harmonised life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. **Int J Life Cycle Assess**, v.12, 2016.

IBICT. Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia. **O que é SICV Brasil?**. Disponível em: <http://acv.ibict.br/banco-nacional/o-que-e-sicv/>. Acesso em 17 de maio 2017.

IFU HAMBURG GMBH. **Umberto® NXT LCA**: User manual. ifu Hamburg GmbH. Hamburg / Germany, 2015.

ILCD (INTERNATIONAL REFERENCE LIFE CYCLE DATA SYSTEM). **ILCD Handbook**: Analysis of existing environmental impact assessment methodologies for use in life cycle assessment. 2010. Disponível em: <<http://eplca.jrc.ec.europa.eu/uploads/ILCD-Handbook-LCIA-Background-analysis-online-12March2010.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2015.

ILCD. International Reference Life Cycle Data System. Recommendations for Life Cycle Impact Assessment in the European context. 2011. Disponível em: <<http://eplca.jrc.ec.europa.eu/uploads/ILCD-Recommendation-of-methods-for-LCIA-def.pdf>>. Acesso em 6 fev 2015.

ILSEN, R.; HERDER, C.; AURICH, J. C. Assessment of Energetic Leverage Effect Using a Virtual Prototype. **Procedia CIRP**, v. 37, 2015.

IOSIP, A.; HORTAL, M.; DOBON, A.; BOBU, E. Assessing environmental impact of packaging paper production based on recycled fibre raw material. **Environmental Engineering and Management Journal**, v. 11, n. 1, 2012.

KAEBERNICK H.; KARA, S.; SUN, M. Sustainable product development and manufacturing by considering environmental requirements. **Robotics and Computer Integrated Manufacturing**, v. 19, 2003.

KIM, J.; YANG, Y.; BAE, J. SUH, S. The Importance of Normalization References in Interpreting Life Cycle Assessment Results. **Journal of Industrial Ecology**, v. 17, n.3, 2013.

KIURSKI, J. S.; MARIĆ, B. B.; OROS, I. B.; KEČIĆ, V. S. The ecodesign practice in Serbian printing industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 149, 2017.

KO, N. et al. Resource Optimized Product Design – Assessment of a Product's Life Cycle Resource Efficiency by Combining LCA and PLM in the Product Development. **Procedia CIRP**, v. 57, p. 669-673, 2016.

KONGPANNA, P.; BABI, D.K.; PAVARAJARN, V.; ASSABUMRUNGRAT, S. Systematic methods and tools for design of sustainable chemical processes for CO<sub>2</sub> utilization. **Computers & Chemical Engineering**, v.87, n.4, 2016.

KUO, T. C. et al. A predictive product attribute driven eco-design process using depth-first search. **Journal of Cleaner Production**, v. 112, p. 3201-3210, 2016.

LACASA, E.; SANTOLAYA, J.L.; BIEDERMANN A. Obtaining sustainable production from the product design analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 139, 2016.

LAUTIER, A.; ROSENBAUM, R.K.; MARGNI, M.; BARE, J.; ROY, P-O.; DESCHÊNES, L. Development of normalization factors for Canada and the United States and comparison with European factors. **Science of The Total Environment**, v. 409, n.1, 2010.

LEE, C.-K.; LEE, J.-Y.; CHOI, Y.-H.; LEE, K.-M. Application of the integrated ecodesign method using the GHG emission as a single indicator and its GHG recyclability. **Journal of Cleaner Production**, v. 112, n. 2, 2016.

LENZ, J.; DENNER, T.; LICKEFETT, M.; BAUERNHANSL, T. Similarity-based product search for next generation process planning. **Procedia CIRP**, v. 33, 2015.

LEWANDOWSKA, A.; KURCZEWSKI, P. ISO 14062 in theory and practice—ecodesign procedure. Part 1: structure and theory. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 15, n.8, 2010.

LOCKREY, S. A review of life cycle based ecological marketing strategy for new product development in the organizational environment. **Journal of Cleaner Production**, v. 95. n. 5, 2015.

LUGLIETTI, R.; ROSA, P.; TERZI, S.; TAISCH, M. Life Cycle Assessment Tool in Product Development: Environmental Requirements in Decision Making Process. **Procedia CIRP**, v. 40, 2016.

MATTHEWS, H. S.; HENDRICKSON, C.T.; MATTHEWS, D. H. **Life Cycle Assessment: Quantitative Approaches for Decisions That Matter**. 2015. Disponível em: <[www.lcatextbook.com](http://www.lcatextbook.com)>. Acesso em: 20 jun. 2015.

MAXWELL, D.; VORST R.V.D. Developing sustainable products and services. **Journal of Cleaner Production**, v. 11, n.8, 2003.

MAYYAS, A.T.; QATTAWI, A.; MAYYAS, A.R.; OMAR, M.A. Life cycle assessment-based selection for a sustainable lightweight body-in-white design. **Energy**, v. 39, n.3, 2012.

MOREIRA, N.; SANTA-EULALIA, L.A.; AÏT-KADI, D.; WOODEHARPER, T.; WANG, Y. A conceptual framework to develop green textiles in the aeronautic completion industry: a case study in a large manufacturing company. **Journal of Cleaner Production**, 105, 2015.

MORENO, P. R.; ROHMER, S.; MA, H-W. Analysis of Potential Relationships between Functional Analysis and Life Cycle Assessment. **Procedia CIRP**, v. 29, 2015.

NG, C. Y. An evidential reasoning-based AHP approach for the selection of environmentally-friendly designs. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 61, p. 1-7, 2016a.

NG, C. Y. Evidential reasoning-based Fuzzy AHP approach for the evaluation of design alternatives' environmental performances. *Applied Soft Computing*, v. 46, p. 381-397, 2016b.

NG, C. Y.; CHUAH, K. B. A hybrid approach for environmental impact evaluation of design options. **International Journal of Sustainable Engineering**, v. 9, n. 2, p. 141-151, 2016.

NG, C. Y.; CHUAH, K. B. Evaluation of Design Alternatives' Environmental Performance Using AHP and ER Approaches. **IEEE Systems Journal**, v. 8, n. 4, p. 1182-1189, 2014.

PAGANI, R. N.; KOVALESKI, J. L.; RESENDE, L. M. Methodi Ordinatio: a proposed methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact factor, number of citation, and year of publication. **Scientometrics**, v. 105, n.3, 2015.

PASSUELO, A. C. B. **Aplicação da Avaliação do ciclo de vida em embalagens descartáveis para frutas**: estudo de caso. 2007. 148f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

PESONEN, H.L.; HORN, S. Evaluating the Sustainability SWOT as a streamlined tool for life cycle sustainability assessment. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 18, n. 9, 2013.

PIEKARSKI, C. M. **Modelo multicritério para apoio à tomada de decisão baseado em avaliação do ciclo de vida e indicadores corporativos**. 2015. 146f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2015.

PIGOSSO, D.C.; MCALOONE, T.C.; ROZENFELD, H. Characterization of the state-of-the-art and identification of main trends for ecodesign tools and methods: classifying three decades of research and implementation. **Journal of the indian institute of science**, v. 95 2015.

PIGOSSO, D.C.A., ROZENFELD, H., MCALOONE, T.C. Ecodesign maturity model: a management framework to support ecodesign implementation into manufacturing companies. **Journal of Cleaner Production**, v. 59, 2013.

POUDELET, V. et al. A process-based approach to operationalize life cycle assessment through the development of an eco-design decision-support system. **Journal of Cleaner Production**, v. 33, p. 192-201, 2012.

POULIKIDOU, S. et al. A material selection approach to evaluate material substitution for minimizing the life cycle environmental impact of vehicles. **Materials and Design**, v. 83, p. 704-712, 2015.

PRADO-LOPEZ, V.; SEAGER, T. P.; CHESTER, M.; LAURIN, L.; BERNARDO, M.; TYLOCK, S. Stochastic multi-attribute analysis (SMAA) as an interpretation method for comparative life-cycle assessment (LCA). **The International Journal of Life Cycle Assessment**, V. 19, N. 2, 2014.

PUGH, S. **Design total** - métodos integrados para engenharia de produto bem-sucedida. Addison-Wesley Publishers, Essex, UK, 1991.

QUELLA, F.; SCHMIDT, W. P. "Integrating Environmental Aspects into Product Design and Development The New ISO TR 14062 – Part 2: Contents and Practical solutions." *Gate to EHS: Life Cycle Management – Design for Environment*, 1–7, 2003. In: GOEPP, V.; ROSE, B.; CAILLAUD, E. Coupling reference modelling and performance evaluation for the effective integration of eco-design tools into the design process. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v. 27, n.3, 2014.

RAMANUJAN, D. et al. Prioritizing Design for Environment Strategies Using a Stochastic Analytic Hierarchy Process. **Journal of Mechanical Design**, v. 136, n. 7, 2014.

REBITZER, G.; EKVALL, T.; FRISCHKNECHT, R.; HUNKELER, D.; NORRIS, G.; RYDBERG, T.; SCHMIDT, W-P.; SUH, S.; WEIDEMA, B. P.; PENNINGTON, D. W. Life cycle assessment: Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. **Environment International**, v. 30, n. 5, 2004.

REUTER, B. Assessment of sustainability issues for the selection of materials and technologies during product design: a case study of lithium-ion batteries for electric vehicles. **International Journal on Interactive Design and Manufacturing**, v. 10, n. 3, p. 217-227, 2016.

ROMEIRO FILHO, E.; NAVEIRO, R. M.; MIGUEL, P.A.C.; FERREIRA, C.V.; GOUVINHAS, R. P. **Desenvolvimento de produtos**: moledos e metodologias. In:



ROMEIRO FILHO, E.; FERREIRA, C.V.; MIGUEL, P.A.C.; GOUVINHAS, R.P.; NAVEIRO, R.M. **Projeto de produto**. Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPRO, 2011.

ROMLI, A.; PRICKETT, P.; SETCHI, R.; SOE, S. Integrated eco-design decision-making for sustainable product development. **International Journal of Production Research**, v. 53, n. 2, 2015.

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F.A ; AMARAL, D.C ; TOLEDO, J.C; SILVA, S.L; ALLIPRANDINI, D.H; SCALICE, R.K . **Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para melhoria do processo**. São Paulo: Saraiva, 2006.

RUSSO, D.; RIZZI, C.; MONTELISCIANI, G. Inventive guidelines for a TRIZ-based eco-design matrix. **Journal of Cleaner Production**, 76, 2014.

SANDIN, G. et al. Making the most of LCA in technical inter-organisational R&D projects. **Journal of Cleaner Production**, v. 70, p. 97-104, 2014.

SAPUAN, S. M. **Design for Sustainability in Composite Product Development**. In: Composite materials: Concurrent Engineering Approach. Elsevier, 2017.

SEOW, Y. et al. A 'Design for Energy Minimization' approach to reduce energy consumption during the manufacturing phase. **Energy**, v. 109, p. 894-905, 2016.

SETAC. Streamlined Life-Cycle Assessment: **A Final Report from the SETAC North America Streamlined LCA Workgroup**. 1999. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/8ca0/ac01b77b5f68a96df0de7b4d59cfc827b125.pdf> . Acesso em: 7 jan de 2017.

SILVA, D. A L.; NUNES, A. O.; MORIS, V. A. S.; PIEKARSKI, C. M.; RODRIGUES, T. O. How important is the LCA software tool you choose? Comparative results from GaBi, openLCA, SimaPro and Umberto. In: VII International Conference on Life Cycle Assessment in Latin America. 2017, Medellín. **Anais...** Colombia, 2017.

SILVA, P. G. S. **Inovação ambiental na gestão de embalagens de bebidas em Portugal**. 2002. 175f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão de Tecnologia) - Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2002.

SIMÕES, C. L. et al. Integrating environmental and economic life cycle analysis in product development: A material selection case study. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 18, n. 9, p. 1734-1746, 2013.

SIMÕES, G.; PINTO, L. M. C.; BERNARDO, C. A. Environmental and economic assessment of a road safety product made with virgin and recycled HDPE: a comparative study. **Journal of Environmental Management**, v. 114, 2013.

SLEESWIJK, A.W.; OERS, L.F.C.M.V.; GUINÉE, J. B.; STRUIJS, J.; HUIJBREGTS, M.A.J. Normalisation in product life cycle assessment: An LCA of the global and European economic systems in the year 2000. **Science of The Total Environment**, v. 390, n.1, 2008.

SMITH, D.M. **Desenvolvimento de novo produto: questões para gerenciamento de projetos**. In: Dinsmore, Paul C., Cabannis-Brewin, Jeannette. AMA - Manual de Gerenciamento de Projetos. 2ed. Rio de Janeiro: Brasport, 2014.

SOUZA, V. M.; BORSATO, M. Combining Stage-Gate™ model using Set-Based concurrent engineering and sustainable end-of-life principles in a product development assessment tool. **Journal of Cleaner Production**, V.112, N. 4, 2016.

SPANGENBERG, J. H. **Design for Sustainability (DfS): Interface of Sustainable Production and Consumption**. In: Kauffman, J.; Lee K-M. Handbook of Sustainable Engineering. Springer Science: Netherlands, 2013.

SPANGENBERG, J. H.; FUAD-LUKE, A.; BLINCOE, K. Design for Sustainability (DfS): the interface of sustainable production and consumption. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, 2010.

SUAREZ, T. M. **Desenvolvimento de um modelo customizado de PDP para uma empresa mista de produtos e serviços**. 2009. 144f. Dissertação (Mestrado em engenharia de produção) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

SYAN, D. **Concurrente engineering**: concepts, implementation and practice. London: Chapman & Hall, 1994.

TELENKO, C.; O'ROURKE, J.M.; SEEPERSAD, C.C.; AND WEBBER, M.E. A Compilation of Design for Environment Guidelines. **Journal of Mechanical Design**, v.138, n 13, 2016.

TINGSTRÖM, J.; KARLSSON, R. The relationship between environmental analyses and the dialogue process in product development. **Journal of Cleaner Production**, v. 14, n.15, 2006.

TINGSTRÖM, J.; SWANSTRÖM, L.; KARLSSON, R. Sustainability management in product development projects – the ABB experience. **Journal of Cleaner Production**, v. 14, n.15, 2006.

ULRICH, K.; EPPINGER, S. **Design e Desenvolvimento de Produto** (4a ed.) McGraw-Hill International, NY, EUA, 2008.

UNEP. UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Towards a Life Cycle Sustainability Assessment**: Making informed choices on products. UNEP/SETAC, 2011.

UNEP. UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Guidance on Organizational Life Cycle Assessment**. Berlin: Kistmacher GmbH, 2015.

VALENTINA, C.; SALA, S.; BENINI, L. Hotspots analysis and critical interpretation of food life cycle assessment studies for selecting eco-innovation options and for policy support. **Journal of Cleaner Production**, v. 140, n.1, 2017.

VARANDAS JUNIOR, A. **Uma proposta para integração de aspectos ambientais do ecodesign no processo de desenvolvimento de novos produtos**. 2014. 291f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Escola Politécnica da Universidade de São Carlos, São Carlos, 2014.

VÁZQUEZ-ROWE, I.; BENETTO, E. The use of a consequential perspective to upgrade the utility of Life Cycle Assessment for fishery managers and policy makers. **Marine Policy**, V. 48, 2014.

VELDEN, N. M. van der.; KUUSK, K., KÖHLER, A. R. Life cycle assessment and eco-design of smart textiles: The importance of material selection demonstrated through e-textile product redesign. **Materials & Design**, V.84, 2015.

VISOTSKY, D.; PATEL, A.; SUMMERS, J. Using Design Requirements for Environmental Assessment of Products: A Historical Based Method. **Procedia**, v.61, 2017.

WANG, X.; CHAN, H. K.; LI, D. A case study of an integrated fuzzy methodology for green product development. **European Journal of Operational Research**, v. 241, n. 1, 2015.

WANG, X.; CHAN, H. K.; WHITE, L. A comprehensive decision support model for the evaluation of eco-designs. **Journal of the Operational Research Society**, v. 65, n. 6, p. 917-934, 2014.

YANG, C. J.; CHEN, J. L. Forecasting the design of eco-products by integrating TRIZ evolution patterns with CBR and Simple LCA methods. **Expert Systems with Applications**, v. 39, n. 3, p. 2884-2892, 2012.

ZAFEIRAKOPOULOS, I. B.; GENEVOIS, M. E. An Analytic Network Process approach for the environmental aspect selection problem — A case study for a hand blender. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 54, 2015.

ZHOU, J.; CHANG, V.W.-C.; FANE, A.G. Environmental life cycle assessment of reverse osmosis desalination: The influence of different life cycle impact assessment methods on the characterization results. **Desalination**, v. 283, n.1, 2011.

**APÊNDICE A - Protocolo de avaliação da integração da ACV no PDP**

Protocolo de avaliação da integração da ACV ao PDP							
Para cada questão avalie o grau de significância atribuída a melhoria de impacto obtida pela integração da ACV ao PDP:							
(0) Não houve melhoria, (1) Melhoria não significativa, (2) Melhoria pouco significativa, (3) Melhoria significativa, (4) Melhoria muito significativa.							
Categories de impacto	Par	Checklist	Pontuação atribuída				
Formação de matéria particulada	1.1	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Formação de matéria particulada na fase de Aquisição de Matéria-prima?	0	1	2	3	4
	1.2	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Formação de matéria particulada na fase de Fabricação?	0	1	2	3	4
	1.3	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Formação de matéria particulada na fase de Comércio e Entrega?	0	1	2	3	4
	1.4	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Formação de matéria particulada na fase de Uso e Manutenção?	0	1	2	3	4
	1.5	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Formação de matéria particulada na fase de Reutilização/Reciclagem/Disposição?	0	1	2	3	4
Formação de oxidantes fotoquímicos: saúde humana	2.1	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Formação de oxidantes fotoquímicos na fase de Aquisição de Matéria-prima?	0	1	2	3	4
	2.2	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Formação de oxidantes fotoquímicos na fase de Fabricação?	0	1	2	3	4
	2.3	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Formação de oxidantes fotoquímicos na fase de Comércio e Entrega?	0	1	2	3	4
	2.4	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Formação de oxidantes fotoquímicos na fase de Uso e Manutenção?	0	1	2	3	4
	2.5	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Formação de oxidantes fotoquímicos na fase de Reutilização/Reciclagem/Disposição?	0	1	2	3	4
Radiação ionizante	3.1	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Radiação ionizante na fase de Aquisição de Matéria-prima?	0	1	2	3	4
	3.2	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Radiação ionizante na fase de Fabricação?	0	1	2	3	4
	3.3	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Radiação ionizante na fase de Comércio e Entrega?	0	1	2	3	4
	3.4	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Radiação ionizante na fase de Uso e Manutenção?	0	1	2	3	4

	3.5	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Radiação ionizante na fase de Reutilização/Reciclagem/Disposição?	0	1	2	3	4
<b>Depleção de ozônio</b>	4.1	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Depleção de ozônio na fase de Aquisição de Matéria-prima?	0	1	2	3	4
	4.2	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Depleção de ozônio na fase de Fabricação?	0	1	2	3	4
	4.3	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Depleção de ozônio na fase de Comércio e Entrega?	0	1	2	3	4
	4.4	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Depleção de ozônio na fase de Uso e Manutenção?	0	1	2	3	4
	4.5	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Depleção de ozônio na fase de Reutilização/Reciclagem/Disposição?	0	1	2	3	4
<b>Toxicidade humana (cancerígeno)</b>	5.1	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Toxicidade humana (cancerígeno) na fase de Aquisição de Matéria-prima?	0	1	2	3	4
	5.2	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Toxicidade humana (cancerígeno) na fase de Fabricação?	0	1	2	3	4
	5.3	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Toxicidade humana (cancerígeno) na fase de Comércio e Entrega?	0	1	2	3	4
	5.4	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Toxicidade humana (cancerígeno) na fase de Uso e Manutenção?	0	1	2	3	4
	5.5	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Toxicidade humana (cancerígeno) na fase de Reutilização/Reciclagem/Disposição?	0	1	2	3	4
<b>Toxicidade humana (não cancerígeno)</b>	6.1	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Toxicidade humana (não cancerígeno) na fase de Aquisição de Matéria-prima?	0	1	2	3	4
	6.2	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Toxicidade humana (não cancerígeno) na fase de Fabricação?	0	1	2	3	4
	6.3	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Toxicidade humana (não cancerígeno) na fase de Comércio e Entrega?	0	1	2	3	4
	6.4	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Toxicidade humana (não cancerígeno) na fase de Uso e Manutenção?	0	1	2	3	4
	6.5	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Toxicidade humana (não cancerígeno) na fase de Reutilização/Reciclagem/Disposição?	0	1	2	3	4

<b>Mudança climática</b>	7.1	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Mudança climática na fase de Aquisição de Matéria-prima?	0	1	2	3	4
	7.2	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Mudança climática na fase de Fabricação?	0	1	2	3	4
	7.3	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Mudança climática na fase de Comércio e Entrega?	0	1	2	3	4
	7.4	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Mudança climática na fase de Uso e Manutenção?	0	1	2	3	4
	7.5	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Mudança climática na fase de Reutilização/Reciclagem/Disposição?	0	1	2	3	4
<b>Uso da água</b>	8.1	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Uso da água na fase de Aquisição de Matéria-prima?	0	1	2	3	4
	8.2	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Uso da água na fase de Fabricação?	0	1	2	3	4
	8.3	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Uso da água na fase de Comércio e Entrega?	0	1	2	3	4
	8.4	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Uso da água na fase de Uso e Manutenção?	0	1	2	3	4
	8.5	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Uso da água na fase de Reutilização/Reciclagem/Disposição?	0	1	2	3	4
<b>Ecotoxicidade de água doce</b>	9.1	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Ecotoxicidade de água doce na fase de Aquisição de Matéria-prima?	0	1	2	3	4
	9.2	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Ecotoxicidade de água doce na fase de Fabricação?	0	1	2	3	4
	9.3	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Ecotoxicidade de água doce na fase de Comércio e Entrega?	0	1	2	3	4
	9.4	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Ecotoxicidade de água doce na fase de Uso e Manutenção?	0	1	2	3	4
	9.5	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Ecotoxicidade de água doce na fase de Reutilização/Reciclagem/Disposição?	0	1	2	3	4
<b>Eutrofização de água doce</b>	10.1	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Eutrofização de água doce na fase de Aquisição de Matéria-prima?	0	1	2	3	4
	10.2	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Eutrofização de água doce na fase de Fabricação?	0	1	2	3	4



	10.3	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Eutrofização de água doce na fase de Comércio e Entrega?	0	1	2	3	4
	10.4	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Eutrofização de água doce na fase de Uso e Manutenção?	0	1	2	3	4
	10.5	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Eutrofização de água doce na fase de Reutilização/Reciclagem/Disposição?	0	1	2	3	4
<b>Formação oxidante fotoquímica: ecossistemas terrestres</b>	11.1	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Formação oxidante fotoquímica na fase de Aquisição de Matéria-prima?	0	1	2	3	4
	11.2	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Formação oxidante fotoquímica na fase de Fabricação?	0	1	2	3	4
	11.3	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Formação oxidante fotoquímica na fase de Comércio e Entrega?	0	1	2	3	4
	11.4	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Formação oxidante fotoquímica na fase de Uso e Manutenção?	0	1	2	3	4
	11.5	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Formação oxidante fotoquímica na fase de Reutilização/Reciclagem/Disposição?	0	1	2	3	4
<b>Ecotoxicidade terrestre</b>	12.1	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Ecotoxicidade terrestre na fase de Aquisição de Matéria-prima?	0	1	2	3	4
	12.2	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Ecotoxicidade terrestre na fase de Fabricação?	0	1	2	3	4
	12.3	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Ecotoxicidade terrestre na fase de Comércio e Entrega?	0	1	2	3	4
	12.4	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Ecotoxicidade terrestre na fase de Uso e Manutenção?	0	1	2	3	4
	12.5	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Ecotoxicidade terrestre na fase de Reutilização/Reciclagem/Disposição?	0	1	2	3	4
<b>Acidificação terrestre</b>	13.1	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Acidificação terrestre na fase de Aquisição de Matéria-prima?	0	1	2	3	4
	13.2	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Acidificação terrestre na fase de Fabricação?	0	1	2	3	4
	13.3	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Acidificação terrestre na fase de Comércio e Entrega?	0	1	2	3	4
	13.4	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Acidificação terrestre na fase de Uso e Manutenção?	0	1	2	3	4

	13.5	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Acidificação terrestre na fase de Reutilização/Reciclagem/Disposição?	0	1	2	3	4
<b>Uso da terra/transformação</b>	14.1	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Acidificação terrestre na fase de Aquisição de Matéria-prima?	0	1	2	3	4
	14.2	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Acidificação terrestre na fase de Fabricação?	0	1	2	3	4
	14.3	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Acidificação terrestre na fase de Comércio e Entrega?	0	1	2	3	4
	14.4	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Acidificação terrestre na fase de Uso e Manutenção?	0	1	2	3	4
	14.5	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Acidificação terrestre na fase de Reutilização/Reciclagem/Disposição?	0	1	2	3	4
<b>Ecotoxicidade marinha</b>	15.1	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Ecotoxicidade marinha na fase de Aquisição de Matéria-prima?	0	1	2	3	4
	15.2	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Ecotoxicidade marinha na fase de Fabricação?	0	1	2	3	4
	15.3	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Ecotoxicidade marinha na fase de Comércio e Entrega?	0	1	2	3	4
	15.4	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Ecotoxicidade marinha na fase de Uso e Manutenção?	0	1	2	3	4
	15.5	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Ecotoxicidade marinha na fase de Reutilização/Reciclagem/Disposição?	0	1	2	3	4
<b>Esgotamento de recursos minerais</b>	16.1	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Esgotamento de recursos minerais na fase de Aquisição de Matéria-prima?	0	1	2	3	4
	16.2	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Esgotamento de recursos minerais na fase de Fabricação?	0	1	2	3	4
	16.3	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Esgotamento de recursos minerais na fase de Comércio e Entrega?	0	1	2	3	4
	16.4	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Esgotamento de recursos minerais na fase de Uso e Manutenção?	0	1	2	3	4
	16.5	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Esgotamento de recursos minerais na fase de Reutilização/Reciclagem/Disposição?	0	1	2	3	4

<b>Esgotamento de recursos fósseis</b>	17.1	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Esgotamento de recursos fósseis na fase de Aquisição de Matéria-prima?	0	1	2	3	4
	17.2	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Esgotamento de recursos fósseis na fase de Fabricação?	0	1	2	3	4
	17.3	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Esgotamento de recursos fósseis na fase de Comércio e Entrega?	0	1	2	3	4
	17.4	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Esgotamento de recursos fósseis na fase de Uso e Manutenção?	0	1	2	3	4
	17.5	A solução para o produto contribuiu significativamente para a redução do impacto Esgotamento de recursos fósseis na fase de Reutilização/Reciclagem/Disposição?	0	1	2	3	4

**APÊNDICE B - Artigos Publicados**

<b>ARTIGOS PUBLICADOS</b>
<b>Periódicos</b>
<p>LUZ, L. M.; FRANCISCO, A. C.; PIEKARSKI, C. M. Proposed model for assessing the contribution of the indicators obtained from the analysis of life-cycle inventory to the generation of industry innovation. <b>Journal of Cleaner Production</b>, v. 96, p. 339-348, 2015.</p> <p>Link de acesso:  <a href="http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652614002212">http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652614002212</a></p>
<b>Eventos</b>
<p>LUZ, L. M.; FRANCISCO, A. C.; PIEKARSKI, C. M. Benefícios da integração da avaliação do Ciclo de vida no processo de desenvolvimento de produto. In: 6th International Workshop   Advances in Cleaner Production, São Paulo. 2017</p> <p>Link de Acesso:  <a href="http://www.advancesincleanerproduction.net/sixth/files/sessoes/5A/3/luz_lm_et_al_academic.pdf">http://www.advancesincleanerproduction.net/sixth/files/sessoes/5A/3/luz_lm_et_al_academic.pdf</a></p>
<p>LUZ, L. M.; FRANCISCO, A. C.; PIEKARSKI, C. M. Aplicação da ACV no processo de desenvolvimento de produto. In: Congresso Internacional de Administração, 2016, Natal. Gestão estratégica: da crise à oportunidade, 2016.</p> <p>Link de acesso:  <a href="http://www.admpg.com.br/2016/down.php?id=2496&amp;q=1">http://www.admpg.com.br/2016/down.php?id=2496&amp;q=1</a></p>
<p>LUZ, L. M.; FRANCISCO, A. C. Avaliação do ciclo de vida para o desenvolvimento de produtos sustentáveis. In: V Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção. Ponta Grossa. Engenharias para Sustentabilidade Industrial, 2015.</p> <p>Link de acesso:  <a href="http://www.aprepro.org.br/conbrepro/2015/anais2015.php">http://www.aprepro.org.br/conbrepro/2015/anais2015.php</a></p>