UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

AGNES NARIMATSU HONDA

O *Ecodesign* por meio da Avaliação do Ciclo de Vida no Processo de
Desenvolvimento de Produto:
Uma proposta baseada em estudo de caso

São Carlos
2014

AGNES NARIMATSU HONDA

O *Ecodesign* por meio da Avaliação do Ciclo de Vida no Processo de
Desenvolvimento de Produto:
Uma proposta baseada em estudo de caso

Dissertação apresentada à Escola de
Engenharia de São Carlos da Universidade
de São Paulo para obtenção do Título de
Mestre em Engenharia de Produção
Área de concentração: Processos e
Gestão de Operações

Orientador: Prof. Dr. Aldo Roberto Ometto

São Carlos

2014

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

H771o Honda, Agnes Narimatsu
O Ecodesign por meio da Avaliação do Ciclo de Vida
no Processo de Desenvolvimento de Produto: Uma proposta
baseada em estudo de caso / Agnes Narimatsu Honda;
orientador Aldo Roberto Ometto. São Carlos, 2014.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação
em Engenharia de Produção e Área de Concentração em
Processos e Gestão de Operações -- Escola de Engenharia
de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2014.

1. Avaliação do Ciclo de Vida. 2. Modelo Unificado.
3. Processo de Desenvolvimento de Produto. 4.
Ecodesign. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidata: Engenharia **AGNES NARIMATSU HONDA**.

Título da dissertação: "O ecodesign por meio da avaliação do ciclo de vida no processo de desenvolvimento de produto: uma proposta baseada em estudo de caso".

Data da defesa: 14/11/2014

Comissão Julgadora:

Resultado:

Prof. Dr. **Aldo Roberto Ometto (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

APROVADA

Prof. Dr. **Sérgio Luis da Silva**
(Universidade Federal de São Carlos/UFSCar)

APROVADA

Profa. Dra. **Cássia Maria Lie Ugaya**
(Universidade Tecnológica Federal do Paraná/UTFPR)

APROVADA

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção:
Prof. Titular **Luiz Cesar Ribeiro Carpinetti**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:
Prof. Associado **Paulo César Lima Segantine**

AGRADECIMENTOS

Antes de tudo, a Deus: aquele que me criou, me capacitou e me abençoou durante todo o meu caminhar.

Em seguida, gostaria de agradecer a todos aqueles que, de certa forma, contribuíram para a consolidação deste projeto e, em especial:

- ao meu marido Renato, que sempre me apoiou e esteve ao meu lado;
- aos meus pais, por serem os maiores responsáveis pela minha formação e, assim, permitirem que tudo isto fosse possível;
- ao meu orientador, Professor Dr Aldo Roberto Ometto pelos ensinamentos e apoio;
- aos meus colegas, principalmente ao Fábio Puglieri, pela ajuda e companheirismo durante todo o decorrer do curso.

RESUMO

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. 159 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

A demanda acelerada por novos produtos e a crescente preocupação ambiental no mundo vem aumentando a importância do *Ecodesign*. A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma técnica utilizada para avaliar o desempenho ambiental de um produto, sendo bastante adequada à prática do *Ecodesign*. No entanto, observa-se que essa técnica não é amplamente aplicada nas empresas, principalmente devido a dificuldade no gerenciamento das informações necessárias e geradas na avaliação. Portanto, esse trabalho apresenta uma proposta para aplicar o *Ecodesign* através da ACV no Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP). Para isso, fez-se uma análise das entradas e saídas das fases do PDP e da ACV, assim como avaliou-se sugestões da literatura para aplicar a ACV no desenvolvimento de produtos. Em seguida, realizou-se um estudo de caso em uma empresa que desenvolveu um produto com melhor desempenho ambiental ao aplicar a ACV no seu desenvolvimento, resultando em uma proposta de procedimento. Por fim, realizou-se uma análise crítica dessa proposta através da consulta a profissionais do PDP da empresa. As principais conclusões enfatizam a importância da ACV no pré e pós desenvolvimento. Além disso, para o procedimento proposto ser executado de forma sistemática, o direcionamento estratégico da empresa é fundamental para orientar a tomada de decisão de forma a incluir a ACV no desenvolvimento de produtos.

Palavras-chave: Avaliação do Ciclo de Vida. Modelo unificado. Processo de Desenvolvimento de Produto. *Ecodesign*.

ABSTRACT

Honda, A. N. **The Ecodesign through Life Cycle Assessment in the Product Development Process: A proposal based on a study case.** 2014. 159 p. Dissertation (M. Sc. in Production Engineering) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

The accelerated demand for new products and the increasing environmental awareness in the world are enhancing the Ecodesign importance. The Life Cycle Assessment (LCA) is a technique used to evaluate the environmental performance of a product, being very suitable for the Ecodesign execution. However, it is observed that this technique is not widely applied in the companies, mainly due to the difficulty to manage the necessary and generated information related to an assessment. Therefore, this work presents a proposal to apply the Ecodesign through the use of LCA in the Product Development Process (PDP). Firstly, the inputs and outputs of all LCA and PDP phases were analyzed, and suggestions found in the literature on how to apply the LCA in the product development were evaluated. Then a study case was conducted in a company that developed a product with an enhanced environmental performance when applied LCA in its development, resulting in a proposed procedure. Lastly, a critical analysis evaluated the proposal by consulting professionals that work in the company's PDP. The main findings emphasize the importance of the LCA in the pre and post development. Moreover, to have the proposed procedure executed systematically, the company's strategic direction is fundamental to orient the decision making in order to include LCA in the product development process.

Keywords: Life Cycle Assessment. Unified Model. Product Development Process. Ecodesign.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Paradoxo do <i>Ecodesign</i> (POUDELET et al., 2012).....	17
Figura 2 - Modelo Unificado (ROZENFELD et al., 2006)	36
Figura 3 - Modelo Diamante (SHENHAR; DVIR, 2007).....	42
Figura 4 - Tipos de projetos (ROZENFELD et al., 2006)	43
Figura 5 - Versões do modelo de referência específico (ROZENFELD et al., 2006).	46
Figura 6 - Resposta industrial aos problemas ambientais (JACQUEMIN et al., 2012)	49
Figura 7 - Fases de uma ACV e aplicações diretas (ISO, 1997)	66
Figura 8 - Ciclo de vida segundo a evolução das vendas do produto (ROZENFELD et al., 2006)	96
Figura 9 - Sistema de produto ou Ciclo de vida do produto (HAUSCHILD; JESWIET; ALTING, 2005)	97
Figura 10 - Comparação entre Modelo Unificado e PDP da empresa do estudo de caso para projeto plataforma.....	121
Figura 11 - Aplicação da ACV ao processo de desenvolvimento de produtos na fase “Definir”	123
Figura 12 - Fluxo de materiais antes do desenvolvimento do novo dispositivo higiênico	124
Figura 13 - Fluxo de materiais depois do desenvolvimento do novo dispositivo higiênico	124
Figura 14 – Comparação do aquecimento global potencial da ACV preliminar	126
Figura 15 – Comparação do consumo de recurso não renovável da ACV preliminar	126
Figura 16 – Comparação do consumo de recurso renovável da ACV preliminar....	126
Figura 17 - Comparação do consumo de energia da ACV preliminar	126
Figura 18 - Aplicação da ACV ao processo de desenvolvimento de produtos na fase “Projetar”	127
Figura 19 - Comparação do aquecimento global potencial da ACV final	129

Figura 20 - Comparação do consumo de recurso não renovável da ACV final	129
Figura 21 - Comparação do consumo de recurso renovável da ACV final	129
Figura 22 - Comparação do consumo de energia da ACV final	129
Figura 23 - Dados normalizados para comparar o desempenho ambiental dos dispositivos	129
Figura 24 - Adaptação da aplicação da ACV ao processo de desenvolvimento de produtos da empresa na fase “Desenvolver”	130
Figura 25 - Aplicação da ACV ao processo de desenvolvimento de produtos na fase “Lançar”	132
Figura 26 - Aplicação da ACV ao processo de desenvolvimento de produtos na fase “Acompanhar”	133
Figura 27 - Aplicação da ACV ao processo de desenvolvimento de produtos da empresa para projetos plataforma	134

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Bases de dados pesquisadas na revisão bibliográfica	22
Quadro 2 - Palavras-chave utilizadas na pesquisa da revisão bibliográfica	22
Quadro 3 - Fatores de sucesso para integração do Ecodesign em desenvolvimento de produtos (JOHANSSON, 2002)	60
Quadro 4 – Matriz MECO (HOCHSCHORNER e FINNVEDEN, 2003)	75
Quadro 5 - Resumo da proposta de aplicação da ACV no Pré Desenvolvimento de Produtos	94
Quadro 6 - Resumo da proposta de aplicação da ACV no Desenvolvimento de Produtos	116
Quadro 7 - Resumo da proposta de aplicação da ACV no Pós Desenvolvimento de Produtos	119
Quadro 8 - Perfil dos entrevistados que avaliaram a aplicabilidade da ACV em todos os projetos do PDP da empresa.....	137

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
AICV	Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida
APQP	<i>Advanced Product Quality Planning Model</i>
BOM	<i>Bill of Materials</i>
DfE	<i>Design for the Environment</i>
DfD	<i>Design for Disassembly</i>
DfX	<i>Design for X</i>
EEA	<i>Environmental Effect Analysis</i>
ERPA	<i>Environmental Responsible Product Assessment</i>
FMEA	<i>Failure Mode and Effect Analysis</i>
ICV	Inventário do ciclo de vida
ILCD	<i>International Reference Life Cycle Data System</i>
ISO	<i>International Standards Organization</i>
LCA	<i>Life Cycle Assessment</i>
MECO	<i>Materials, Energy Chemicals and Others</i>
MET	<i>Materials, Energy and Toxicity</i>
PDP	Processo de Desenvolvimento de Produtos
PD	Pesquisa e Desenvolvimento
PEP	Planejamento Estratégico de Produtos
PMI	<i>Project Management Institute</i>
PMBok	<i>Project Management Body of Knowledge</i>
QFD	<i>Quality Function Deployment</i>
QFDE	<i>Quality Function Deployment for Environment</i>

SETAC	<i>Society of Environmental Toxicology and Chemistry</i>
SWOT	Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats
SSC	Sistemas, Subsistemas e Componentes

SUMÁRIO

RESUMO.....	5
ABSTRACT	6
1. INTRODUÇÃO.....	14
1.1. Relevância e contribuição da pesquisa.....	19
1.2. Objetivos	20
2. MÉTODO.....	22
2.1. Levantamento Bibliográfico.....	22
2.2. Aplicação da ACV no Processo de Desenvolvimento de Produtos.....	22
2.3. Estudo de caso	24
2.3.1. Projeto do estudo de caso	25
2.3.2. Elaboração do protocolo do estudo de caso.....	27
2.3.3. Execução do estudo de caso.....	28
2.3.4. Análise das evidências do estudo de caso	29
3. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO.....	30
3.1. Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP).....	30
3.1.1. Modelo Unificado	35
3.1.2. Tipologia de projetos de desenvolvimento de produtos.....	40
3.2. Integração de aspectos ambientais no projeto e desenvolvimento do produto (<i>Ecodesign</i>).....	49
3.2.1. Histórico.....	49
3.2.2. O Paradoxo do <i>Ecodesign</i>	54
3.2.3. Caracterização do <i>Ecodesign</i>	55
3.2.4. Fatores de sucesso do <i>Ecodesign</i>	59
3.3. Avaliação de Ciclo de Vida (ACV).....	63
3.3.1. Metodologia da ACV	66
3.3.2. ACV como ferramenta de <i>Ecodesign</i>	76
3.3.3. Limitações do uso da ACV no <i>Ecodesign</i>	78
4. APLICAÇÃO DA ACV NO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS.....	81
4.1. Modelo de PDP adotado	81

4.2.	Aplicação da ACV ao desenvolvimento de produtos	83
4.2.1.	Aplicação da ACV no Pré Desenvolvimento	84
4.2.2.	Aplicação da ACV no Projeto Informacional	94
4.2.3.	Aplicação da ACV no Projeto Conceitual.....	102
4.2.4.	Aplicação da ACV no Projeto Detalhado	107
4.2.5.	Aplicação da ACV na Preparação da Produção e Lançamento do Produto.	114
4.2.6.	Aplicação da ACV no Pós Desenvolvimento	116
5.	ESTUDO DE CASO.....	120
5.1.	Desenvolvimento de produto aplicando a ACV	120
5.2.	Avaliação da aplicabilidade da ACV em todos os projetos da empresa .	136
5.3.	Discussões sobre o estudo de caso	141
6.	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	144
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	148
	APÊNDICE A.....	157
	APÊNDICE B.....	158

1. INTRODUÇÃO

O mercado mundial caracteriza-se pela globalização, interconexão econômica e por uma intensa competição entre organizações que buscam obter resultados consistentes a custos reduzidos (LEITE; FILHO, 2009). O cenário global também está caracterizado por alterações climáticas, por mudanças demográficas e pelo aumento populacional (KIRON et al., 2013).

Dentro desse contexto, há um aumento na demanda por novos produtos devido a evolução tecnológica acelerada, a crescente competitividade e ao aumento da necessidade em atender segmentos específicos de mercado (KOTLER; KARTAJAYA; SETIAWAN, 2010).

Portanto, o Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP) é considerado um processo de negócio cada vez mais importante para a competitividade das empresas, uma vez que busca identificar as necessidades do mercado e dos clientes, identificar as possibilidades tecnológicas, desenvolver um produto que atenda às expectativas do mercado, no tempo adequado (ou seja, mais rápido que os concorrentes) e a um custo competitivo (ROZENFELD et al., 2006). Desta forma, o desenvolvimento eficaz de produtos pode garantir a vantagem competitiva de uma empresa (LIN et al., 2008).

Em relação às alterações climáticas, mudanças demográficas e aumento populacional que caracterizam o cenário mundial, esses fatos têm levado a uma crescente preocupação sobre a importância da proteção ambiental e os potenciais impactos associados às fases do ciclo de vida dos produtos (NIELSEN; WENZEL, 2002). Isso ocorre porque a disponibilidade de matérias-primas não é infinita e

porque o ecossistema não é capaz de absorver quantidades infinitas de poluentes, causando prejuízos ambientais (JACQUEMIN et al., 2012).

De fato, a maioria dos produtos disponíveis no mercado não foram desenvolvidos para minimizar os impactos ambientais (MILLET et al., 2007). As empresas do ramo industrial estão entre as principais geradoras de impactos ambientais e foram as primeiras a serem associadas a problemas ambientais, devido a característica inerente do setor industrial, onde acontece a extração de fontes naturais para transformar em bens ao consumidor (ANDRADE; TACHIZAWA; CARVALHO, 2002).

Em resposta à crescente preocupação ambiental, políticas ambientais foram criadas e indústrias passaram a implementar ações de tratamento, tecnologias mais limpas e modificações nos produtos com o objetivo de reduzir os impactos ambientais e alcançar novas oportunidades de negócio (ELICECHE; CORVALÁN; MARTÍNEZ, 2007; NIELSEN; WENZEL, 2002; SOUSA; WALLACE, 2006).

Essa preocupação também levou as companhias a serem mais proativas no desenvolvimento dos novos produtos e melhoria daqueles que já existem (HAROLD; OGUNNAIKE, 2000). Nesse contexto, o PDP deve considerar as questões ambientais e cada vez mais as organizações estão adotando novas práticas de desenvolvimento para incluir critérios ambientais, frequentemente chamadas de práticas de *Ecodesign* ou DfE (*Design for Environment*) (CHARTER; TISCHNER, 2001; FIKSEL, 1993; JACQUEMIN et al., 2012; LEWIS et al., 2001; POUDELET et al., 2012; STEVELS, 1999).

Hunkeler e Vanakari (2000) realizaram uma pesquisa com 27 empresas de 5 setores distintos (processo, manufatura, elétrico, construção e automotivo) e observaram que as indústrias de bens de consumo não-durável apresentaram maior

interesse em aplicar o *Ecodesign*. De acordo com Kotler e Keller (2006), bens não-duráveis normalmente são consumidos ou utilizados uma ou poucas vezes (como alimentos e cosméticos), sendo consumidos rapidamente e comprados com frequência. Andrade, Tachizawa e Carvalho (2002) observaram que esse setor é marcado pela alta concorrência, devido o elevado número de empresas no setor. Desta forma, o apelo ambiental nesses produtos aparece como uma oportunidade de diferenciação dentro desse mercado. De fato, considerando o contexto atual de competitividade crescente, a questão ambiental pode gerar vantagem competitiva para organizações de todos os setores (MEDEIROS et al. 2014).

Durante cada fase do desenvolvimento de um produto, diversos aspectos são considerados, por exemplo: propriedades técnicas, ergonômicas, de segurança e ambientais. O produto final é resultado da combinação da prioridade desses aspectos (NIELSEN; WENZEL, 2002). O grau de liberdade para a escolha das soluções, e conseqüentemente o potencial para melhorias ambientais, é alto no início do desenvolvimento do produto, quando as ideias e soluções ainda não foram definidas. Durante o desenvolvimento e implementação de um novo produto, cada decisão ou escolha feita irá moldar o perfil ambiental do sistema de produto (ROZENFELD et al., 2006). Se as questões ambientais não foram consideradas no desenvolvimento do produto, no momento que o produto está estabelecido e pronto para o mercado, as opções de melhorias ambientais são limitadas a alguns processos, como de produção, logística e reciclagem. E mesmo para esses processos, a melhoria é limitada (NIELSEN; WENZEL, 2002).

No entanto, para considerar as questões ambientais logo nos estágios iniciais do desenvolvimento do produto, algumas informações necessárias para realizar uma avaliação ambiental ainda não estão disponíveis, uma vez que essas serão

totalmente definidas apenas no estágio final de desenvolvimento. Diversos autores descreveram e representaram graficamente esse fenômeno (CHARTER; TISCHNER, 2001; KEOLEIAN, 1993; NIELSEN; WENZEL, 2002; HAUSCHILD; JESWIET; ALTING, 2005; POUDELET et al., 2012). Poudelet et al. (2012) chamaram essa situação de Paradoxo do *Ecodesign* (Figura 1).

Figura 1 - Paradoxo do *Ecodesign* (POUDELET et al., 2012)

A ACV é a técnica mais adequada para avaliar o desempenho ambiental de um produto ou serviço considerando todo ciclo de vida (FINNVEDEN et al. 2009; JACQUEMIN et al., 2012; KEOLEIAN, 1993; MILLET et al., 2007), uma vez que quantifica os impactos potenciais de um produto de acordo com a metodologia descrita na ISO 14040 (ISO, 1997) e ISO 14044 (2006). Mesmo assim, o uso da ACV nos estágios iniciais do desenvolvimento do produto continua limitado (ANDRIANKAJA; BERTOLUCI; MILLET, 2013; JACQUEMIN et al., 2012; POUDELET et al., 2012).

Hetherington et al. (2014) observaram que a ACV, sendo desenvolvida para quantificar os impactos ambientais de um sistema, tem sido tradicionalmente executada retrospectivamente, utilizando dados existentes de processos em escala industrial. No entanto, há grande potencial de melhora ambiental quando a ACV é executada durante o desenvolvimento. Nesse caso, o grande desafio está em identificar quais as informações geradas pela ACV em estágio inicial que devem ser consideradas na tomada de decisão, de forma a direcionar o *Ecodesign* de maneira efetiva.

1.1. Relevância e contribuição da pesquisa

Andriankaja, Bertoluci e Millet (2013) apontaram dificuldades no gerenciamento das informações necessárias para a condução da ACV, assim como dificuldades do time de desenvolvimento em utilizar as informações geradas pela ACV. A primeira dificuldade está relacionada a três critérios: quantidade de informações, qualidade das informações e quantidade de trabalho necessária para coletar as informações. A segunda dificuldade é relacionada a dois critérios: a carga de trabalho envolvida para a modelagem do ciclo de vida e a interpretação dos resultados para a melhoria ambiental do produto.

Barreto (2007) propôs a incorporação da ACV ao projeto do produto. O método de projeto de produto foi desenvolvido a partir da seleção das fases do PDP em que as informações técnicas estão disponíveis para serem submetidas aos cálculos de ACV, e onde as informações resultantes podem servir para a tomada de decisão sobre a viabilidade ambiental do produto. O modelo de PDP utilizado como referência foi o proposto por Pahl e Beitz (1996), que menciona o planejamento do produto em um sentido mais restrito, como uma forma de preparação para o

desenvolvimento do produto. Os autores discorrem sobre passos estratégicos no início do desenvolvimento, mas sem muitos detalhes. Além disso, esse modelo não menciona sobre o pós desenvolvimento.

Como consequência, o modelo proposto por Barreto (2007) não considera a incorporação da ACV na fase de pré desenvolvimento, onde a estratégia do desenvolvimento de produtos é estabelecida. Esse fato pode limitar a possibilidade de ganhos ambientais. De acordo com Johansson (2002), um dos fatores de sucesso do *Ecodesign* é considerar não apenas sua dimensão operacional, mas também sua dimensão estratégica. Além disso, a fase de pós desenvolvimento não foi considerada e portanto os ganhos ambientais acabam sendo limitados. Para Nielsen e Wenzel (2002), uma das vantagens de se desenvolver um produto utilizando ACV como ferramenta de *Ecodesign* é a possibilidade de aproveitar a informação gerada no desenvolvimento do produto lançado para novos desenvolvimentos. Portanto, há oportunidades de aplicar o conhecimento gerado pela ACV, mesmo após o lançamento do produto.

Guelere (2009), por sua vez, propôs um modelo genérico para a gestão do processo de desenvolvimento de produtos com integração do *Ecodesign*. O autor utilizou como base o Modelo Unificado desenvolvido por Rozenfeld et al. (2006), com algumas modificações. Uma das observações deste trabalho foi a comprovação da necessidade de se considerar o *Ecodesign* dentro de uma perspectiva estratégica, logo na fase de pré-desenvolvimento. Mas o modelo proposto pelo autor limitou-se até a fase de Projeto Detalhado, pois considerou que as fases subsequentes (Preparação da Produção, Lançamento do Produto e Pós Desenvolvimento) apresentavam pouca possibilidade de melhorias ambientais.

De fato, ao considerar o desenvolvimento de um produto novo em particular, as fases finais do desenvolvimento apresentam poucas possibilidades de melhorias ambientais. No entanto o PDP possui uma abrangência muito maior, pois é um processo de negócio que integra desde as atividades do planejamento estratégico da empresa até a descontinuidade do produto no mercado. O monitoramento do produto lançado, incluindo o comportamento ambiental, é fundamental para o planejamento estratégico do negócio e geração de novos produtos. Assim, as informações ambientais geradas no pós desenvolvimento podem retroalimentar o PDP e direcionar nos desenvolvimentos futuros da empresa.

Desta forma, este trabalho propõe a execução do *Ecodesign* ao aplicar a ACV em todas as fases do Processo de Desenvolvimento de Produtos, incluindo o pré e pós desenvolvimento, pois considera a importância dessas fases para contribuir na redução dos impactos ambientais dos novos produtos desenvolvidos.

1.2. Objetivos

Considerando o contexto exposto anteriormente, surge a questão da pesquisa desse trabalho:

Como o *Ecodesign* pode ser executado por meio da aplicação da ACV em todo Processo de Desenvolvimento de Produtos?

Desta forma, o objetivo geral desse trabalho é propor meios mais completos de aplicação do *Ecodesign* por meio do uso da ACV no Processo de Desenvolvimento de Produtos.

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Discutir sobre como o *Ecodesign* pode ser executado por meio da aplicação da ACV no Processo de Desenvolvimento de Produtos
- Propor um procedimento de aplicação do *Ecodesign* através do uso da ACV no Processo de Desenvolvimento de Produtos
- Realizar análise crítica da proposta feita para o PDP de uma empresa

2. MÉTODO

2.1. Levantamento Bibliográfico

Para o levantamento bibliográfico consultou-se artigos em revistas científicas, anais de congressos, dissertações, teses e livros. O Quadro 1 mostra as bases de dados utilizadas e no Quadro 2 encontram-se as palavras-chave utilizadas. Nenhum limite temporal foi estabelecido para a pesquisa.

Quadro 1 - Bases de dados pesquisadas na revisão bibliográfica

Base de dados	Endereço eletrônico
<i>Web of Science</i>	http://www.isiknowledge.com
<i>Scopus</i>	http://www.scopus.com
<i>Science Direct</i>	http://www.sciencedirect.com
<i>Google Scholar</i>	http://www.scholar.google.com
Scielo (nacional)	http://www.scielo.org

Quadro 2 - Palavras-chave utilizadas na pesquisa da revisão bibliográfica

Palavras-chave
<i>Product Development Process</i> , Processo de Desenvolvimento de Produto, PDP
<i>Ecodesign</i> , DfE, <i>Design for Environment</i> , <i>Eco-design</i> , <i>Eco design</i>
LCA, <i>Life Cycle Assessment</i> , ACV, Avaliação do Ciclo de Vida

2.2. Aplicação da ACV no Processo de Desenvolvimento de Produtos

Atende ao primeiro objetivo específico deste trabalho. Inicialmente, escolheu-se um modelo de referência de PDP. Os motivos para a escolha do modelo de PDP a ser utilizado são:

a) o modelo é genérico e reúne o conhecimento adquirido pela experiência de aplicação em casos reais, viabilizando a adaptação em uma empresa

b) o modelo inclui as macrofases de pré e pós desenvolvimento, além do desenvolvimento propriamente dito.

Baseado no PDP escolhido como referência, discutido em detalhes na sessão 4.1, discutiu-se como o *Ecodesign* pode ser executado, focando em como a ACV pode ser aplicada em cada fase do PDP, considerando todo o processo de desenvolvimento de produtos, desde o pré até o pós desenvolvimento. Para essa discussão, utilizou-se as mesmas fontes utilizadas no levantamento bibliográfico e executou-se os seguintes passos:

- 1) Identificação em cada fase do PDP quais as informações técnicas geradas que podem ser utilizadas nos cálculos de uma ACV. Para essa integração, analisou-se a relação entre a função e saída de cada tarefa do PDP com os requisitos para executar uma ACV.
- 2) Identificação em cada fase do PDP quais as informações geradas pela ACV que são úteis para a tomada de decisão. Para esse passo, identificou-se em cada tarefa do PDP quais as informações necessárias para sua execução. Em seguida, identificou-se os dados que a ACV gera e que podem ser relacionadas às informações necessárias para aquela tarefa do PDP.
- 3) Discussão de como a ACV pode ser aplicada em cada fase do PDP, através das informações geradas nos passos anteriores e sugestões encontradas na literatura. Para essa discussão, realizou-se a integração de todas as fases do PDP, assim como da ACV que estava relacionada a cada fase. Avaliou-se os dados de entrada e saída de cada fase para propor a aplicação da ACV, resultando em propostas para todo o Processo de Desenvolvimento de

Produtos. Além disso, buscou-se na bibliográfica trabalhos que sugeriam aplicações da ACV no Processo de Desenvolvimento de produtos. Para cada sugestão encontrada, verificou-se em qual fase do PDP essa se aplicava, de acordo com o modelo escolhido.

2.3. Estudo de caso

O estudo de caso foi executado em duas etapas e atende ao segundo e terceiro objetivos específicos deste trabalho.

A primeira etapa do estudo de caso foi conduzida com o objetivo de propor um procedimento de aplicação da ACV no Processo de Desenvolvimento de Produtos de uma empresa. Para isso, avaliou-se como a ACV pôde ser aplicada em um projeto de desenvolvimento que resultou em um produto com menor impacto ambiental. As técnicas de pesquisa utilizadas foram entrevistas semi estruturadas, consulta a documentos e observação participante. A partir da avaliação desse projeto, elaborou-se a proposta de procedimento de aplicação da ACV no processo de desenvolvimento da empresa.

A segunda etapa desse estudo foi conduzida com o objetivo de discutir a proposta feita para o PDP da empresa. Realizou-se uma análise sobre a aplicabilidade das recomendações para todos os tipos de projetos de uma empresa, ou quais as sugestões para torná-las aplicáveis. Utilizou-se as mesmas técnicas de pesquisa, ou seja: entrevista semi estruturada, consulta a documentos e observação participante.

Ambas as etapas do estudo de caso baseiam-se na sistemática apresentada por Yin (2005), seguindo os passos descritos a seguir.

2.3.1. Projeto do estudo de caso

Considerando o objetivo do presente trabalho, o estudo de caso apresenta-se mais adequado, baseado nas condições que Yin (2005) apresenta, a saber:

- a) Tipo de questão de pesquisa: A principal questão do estudo é “Como o *Ecodesign* pode ser executado por meio da aplicação da ACV em todo Processo de Desenvolvimento de Produtos?” De acordo com Yin (2005), questões do tipo “como” são explanatórias e podem levar ao estudo de caso, pesquisas históricas ou experimentos.
- b) Controle sobre eventos comportamentais efetivos: Uma vez que o objetivo é “retratar a realidade como ela é”, não se tem controle sobre os comportamentos e portanto exclui-se a possibilidade de escolher a estratégia de experimentos.
- c) Enfoque em acontecimentos contemporâneos: O objetivo é entender os acontecimentos atuais. Exclui-se, portanto, a estratégia de pesquisas históricas, que foca em lidar eventos passados.

Em seguida, é necessário identificar a proposição do estudo, baseado na questão envolvida. Portanto, para responder à questão “Como o *Ecodesign* pode ser executado por meio da aplicação da ACV em todo Processo de Desenvolvimento de Produtos?” faz-se a discussão sobre a execução do *Ecodesign* e o uso da ACV no Processo de Desenvolvimento de Produtos.

Quanto à unidade de análise, a empresa escolhida para o estudo de caso é uma empresa multinacional, localizada no estado de São Paulo, produtora de bens

não duráveis e voltada ao setor de higiene, saúde e beleza. A escolha desse setor de empresa foi feita devido a importância do impacto ambiental que esse tipo de indústria causa e o interesse em aplicar *Ecodesign* dessas empresas. Por motivos de confidencialidade, a identificação da empresa não será revelada. Os motivos da escolha dessa empresa são:

- A empresa tem um processo padrão de desenvolvimento de produtos estabelecido e estruturado
- A empresa desenvolveu um produto com menor impacto ambiental, podendo aplicar a ACV no desenvolvimento de produtos.
- A empresa está disposta a aplicar a ACV no processo de desenvolvimento de produtos.

Para a análise das evidências, a abordagem da “adequação ao padrão” mostra-se apropriada. Nessa abordagem, diversas partes da mesma informação obtidas do caso podem ser relacionadas à proposição teórica. Uma vez evidenciadas essas relações, pode-se considerar a proposição adequada.

Para garantir a qualidade do estudo, diversas fontes de evidências são utilizadas (análise de documentação, entrevistas e observação participante) com o objetivo de criar linhas convergentes de investigação. A validade interna é garantida através da abordagem de adequação ao padrão para análise das evidências. E para assegurar a confiabilidade, todos os procedimentos adotados no estudo serão documentados, por meio de um protocolo a ser elaborado antes da execução do estudo de caso e de um banco de dados para organizar todas as informações coletadas. Por motivos de confidencialidade, o banco de dados não será publicado.

2.3.2. Elaboração do protocolo do estudo de caso

Para a primeira parte do estudo de caso, a coleta de dados ocorreu através da análise dos documentos da empresa, de entrevistas com pessoas envolvidas e de observação participante. Entrevistou-se as principais pessoas envolvidas no projeto executado utilizando a ACV em seu desenvolvimento. As entrevistas foram individuais, com duração de aproximadamente uma hora e orientadas por um questionário semi estruturado (APÊNDICE A), elaborado a partir da revisão bibliográfica apresentada no capítulo 3. A prática da entrevista semi estruturada permite que o pesquisador colete informações específicas que não estavam estabelecidas no roteiro. Em seguida, elaborou-se a proposta de procedimento para aplicar a ACV no Processo de Desenvolvimento de Produtos da empresa.

Para a segunda parte, também foram realizadas as entrevistas, que ocorreram com pessoas que trabalham nas diversas fases do PDP (pré desenvolvimento, desenvolvimento e pós desenvolvimento). Da mesma forma que a primeira parte do estudo de caso, as entrevistas foram individuais, com duração de aproximadamente uma hora e orientadas por um questionário semi estruturado (APÊNDICE B) elaborado a partir da revisão bibliográfica apresentada no capítulo 3. Apresentou-se para os entrevistados a proposta de aplicação da ACV em um projeto de PDP de uma empresa, resultante da primeira partes do estudo de caso. Em seguida, conduziu-se a entrevista com o objetivo de entender se essas propostas são viáveis para serem aplicadas para todos os projetos de desenvolvimento da empresa, ou quais as adaptações necessárias para viabilizar sua aplicação.

Em ambas as partes do estudo de caso, foi possível realizar a observação participante pois a responsável pelo estudo trabalha na empresa e está envolvida

em seu processo de desenvolvimento de produtos. Isso permitiu perceber a realidade do ponto de vista de alguém “dentro” do estudo de caso.

2.3.3. Execução do estudo de caso

Compreende a coleta propriamente dita das evidências através da análise de documentos, entrevistas e observação participante, baseado no protocolo estabelecido previamente. Os resultados foram documentados e os acontecimentos relevantes foram anotados. Para garantir a validade do constructo e a confiabilidade do estudo de caso, diversas fontes de evidência foram utilizadas, um banco com os dados gerados foi criado e o encadeamento das evidências foi mantido.

O resultado da primeira parte do estudo de caso encontra-se na seção 5.1, mais especificamente na Figura 27. Para essa parte, três pessoas foram entrevistadas: um supervisor responsável pela manufatura, o engenheiro responsável pelo projeto e o cientista de pesquisa e desenvolvimento que liderou o projeto. Esses profissionais foram os principais envolvidos no projeto avaliado.

Na segunda parte do estudo de caso, 5 pessoas foram entrevistadas:

- 1) Um profissional responsável pelo desenvolvimento de novas tecnologias, atuando principalmente na macrofase de pré desenvolvimento
- 2) Um profissional responsável pelo desenvolvimento de novos produtos, atuando principalmente na macrofase de desenvolvimento
- 3) Um profissional responsável pelo acompanhamento do produto comercializado, atuando na macrofase de pós desenvolvimento

- 4) Um profissional responsável pelo desenvolvimento de embalagens, considerando a importância ambiental que a embalagem representa nos bens de consumo não duráveis
- 5) Um profissional responsável pela implementação dos novos produtos, atuando principalmente na fase de lançamento do produto

Os profissionais foram escolhidos baseados nas suas áreas de atuação. O objetivo era cobrir todo o processo de desenvolvimento de produtos, de forma a obter informações mais amplas e relevantes possíveis. O profissional responsável pelo desenvolvimento de embalagens foi escolhido por atuar em diversas fases, desde o pré desenvolvimento, até o pós desenvolvimento dos produtos. O profissional responsável pela implementação nos novos produtos foi escolhido por centralizar grande parte dos lançamentos da empresa e por ter uma vasta interação com as demais áreas do desenvolvimento de produtos. Além disso, outro critério para a escolha dos entrevistados foi o interesse dos profissionais pela questão ambiental e de sustentabilidade, sendo que todos trabalham ou trabalharam ativamente em grupos e projetos relacionados ao assunto.

2.3.4. Análise das evidências do estudo de caso

Foi utilizada a estratégia analítica de descrição de caso, com o objetivo de organizar o estudo de caso. Essa atividade foi realizada em função dos resultados gerados pelos instrumentos de coleta de dados utilizados na atividade anterior. Após a realização das entrevistas, foi elaborada uma narrativa geral das entrevistas, levando em consideração as informações coletadas na pesquisa de campo.

3. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

Inicia-se com a fundamentação teórica, onde realizou-se o levantamento do conhecimento existente relacionado à questão desse trabalho e sobre os temas-chave da pesquisa, ou seja, Processo de Desenvolvimento de produtos (PDP), *Ecodesign* e Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), bem como assuntos relacionados a esses temas.

3.1. Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP)

Cada vez mais, o ciclo dos produtos torna-se menor e os consumidores demandam uma maior variedade de escolhas, forçando as empresas a oferecer mais produtos em quase todos os mercados. Além disso, a globalização dos mercados está forçando os negócios a responderem às demandas locais e à competição ao redor do mundo (SHENHAR; DVIR, 2007).

Considerando esse cenário, o desenvolvimento de novos produtos tornou-se um processo de negócio cada vez mais crítico para a competitividade das empresas (ROZENFELD et al., 2006). Crawford e Benedetto (2006) definem o processo de desenvolvimento de produtos como uma combinação de passos, atividades, decisões e objetivos que, se bem realizados, irão produzir novos produtos da empresa.

De acordo com Kerzner (2003), a elevada proporção das mudanças na tecnologia e no mercado atual estão exigindo grandes esforços dos modelos tradicionais de gestão, que não respondem numa velocidade suficiente para um ambiente em transformação. Dessa forma, o autor aponta o gerenciamento de projetos como a estrutura capaz de satisfazer essas necessidades.

Para Milosevic e Srivannaboon (2006), o gerenciamento de projetos é uma forma especializada de gestão, semelhante a outras estratégias funcionais utilizadas para se alcançar uma série de objetivos de negócio e tarefas de trabalho dentro de cronogramas e orçamento definidos. Nessa visão, o gerenciamento de projetos apóia diretamente a estratégia competitiva da organização para entregar resultados relacionados a redução do tempo de entrega ao mercado, alta qualidade e custo baixo.

Como disciplina formal, o gerenciamento de projetos iniciou-se na metade do século XX, após a Segunda Guerra Mundial (BACK et al., 2008; SHENHAR; DVIR, 2007). A partir de 1960, surgiram obras que tratam o desenvolvimento de produtos de forma mais sistemática (BACK et al., 2008). Asimov (1962) publicou o primeiro livro que apresentou, de maneira mais orientada, as atividades desenvolvidas ao longo do processo de projeto de engenharia. Em 1969, o *Project Management Institute (PMI)* foi fundado e construiu o guia *Project Management Body of Knowledge (PMBok)*, que tornou-se o padrão dessa disciplina (SHENHAR; DVIR, 2007).

Na década de 70, Pahl e Beitz (1977) publicaram uma obra que é considerada como marco inicial e importante para a sistematização do processo de desenvolvimento de produtos. Na abordagem proposta pelos autores, conhecida como desenvolvimento sequencial de produtos, as informações sobre o produto seguiam uma ordem lógica de uma área funcional para outra (marketing, engenharia, produção...), regida por um rígido sequenciamento linear de atividade. No entanto, essa visão sequencial gerava grande dificuldade de compreensão mútua entre as áreas funcionais, gerando conflitos e retrabalhos (BACK et al., 2008).

Na década de 80, países como os Estados Unidos e a Inglaterra realizaram estudos para identificar razões da perda de competitividade de seus produtos, chegando à conclusão que essas perdas estavam associadas às deficiências na qualidade de projeto dos produtos (BACK et al., 2008). No final dessa década, o desenvolvimento de produtos tornou-se um fator de competição entre as empresas, pois notou-se seu impacto sobre custos, satisfação do cliente e na vantagem competitiva. No entanto, devido o alto grau de incerteza e baixa previsibilidade do PDP, questionava-se sobre a possibilidade de gerenciá-lo visando aumentar o desempenho (PRASAD, 1996).

Nos anos 90, diversos modelos surgiram para auxiliar na gestão do PDP (CLARK; WHEELWRIGHT, 1993; CLAUSING, 1994; COOPER, 1993; KUSIAK, 1993; PRASAD, 1996; PUGH, 1991; ULLMAN, 1992) nas quais são descritas metodologias de desenvolvimento de produtos com visões de engenharia simultânea, qualidade total, desenvolvimento integrado e projeto para competitividade. Essas abordagens apresentavam em comum a busca por superar a visão sequencial das atividades desenvolvidas no PDP, propondo a integração baseada em times multifuncionais liderados por um líder de projeto e no paralelismo na execução de atividades. A partir desse momento, a área de desenvolvimento de produtos recebeu uma grande atenção, resultando em grande quantidade de publicações, novos termos, conceitos e siglas (BACK et al., 2008).

Pugh (1991) propôs o modelo *Total Design*, com a construção de uma visão total da atividade de projeto, superando as visões parciais de desenvolvimento de produtos (*partial design*). Além de considerar as práticas estabelecidas na abordagem tradicional de desenvolvimento de produtos, essa abordagem incorporou questões como necessidades dos clientes, seleção do conceito, robustez funcional,

integração ao sistema como um todo, facilidade de manufatura e manutenção, prevenção de problemas, trabalho em equipe, necessidade de gerenciamento e coerência estratégica. O modelo possui um conjunto de 6 fases interativas e representou uma evolução ao incluir técnicas e conceitos com o objetivo de minimizar ou eliminar problemas encontrados no modelo tradicional.

Clausing (1994) e Prasad (1996) propuseram a engenharia simultânea, com a formação de times multifuncionais liderados por um gerente de projetos com autoridade superior aos gerentes funcionais. Essa abordagem é baseada em processos que fornecem maior entendimento das atividades, a cooperação entre os membros da equipe e aumento no grau de paralelismo das atividades de desenvolvimento. Essa abordagem também contribuiu para difundir o uso sistemático de técnicas de projeto como *Quality Function Deployment* (QFD) e *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA).

Já o modelo de Clark e Wheelwright (1993) é conhecido como Funil de Desenvolvimento e foi o primeiro a adotar a abordagem do PDP como um processo de negócio. Desse modo, a interação entre as atividades de desenvolvimento passaram a ser mais evidentes e a necessidade da gestão do PDP passou a ser destacado. Os autores foram os pioneiros na inclusão das atividades de planejamento estratégico ao PDP, reforçando a importância do alinhamento do PDP às estratégias de negócio da empresa. Isso consolidou o conceito de gestão do PDP como um processo essencial para a competitividade da empresa.

Cooper (1993) propôs o modelo *Stage Gates*, baseado na visão por processos. Esse modelo é dividido em estágios, sendo cada um composto por um conjunto de melhores práticas desenhado de modo a obter as informações necessárias para minimizar os riscos e as incertezas do projeto. Dentro de cada

estágio, as atividades são realizadas em paralelo por times multifuncionais e ao completar um estágio segue-se ao *gate*, onde toma-se a decisão gerencial de continuar ou não um projeto, dando seguimento ao investimento ou não. Os *gates* funcionam como controle de qualidade das entregas feitas pelo time, cujos critérios são definidos previamente.

Rozenfeld et al. (2006) propuseram o Modelo Unificado que originou-se da união das metodologias, estudos de caso, modelos, experiências e melhores práticas desenvolvidas e coletadas pelas equipes de pesquisadores, refletindo o conhecimento e a experiência acumulados pelos autores. Uma das inovações que o Modelo Unificado apresenta é a macrofase de pós desenvolvimento, que engloba as atividades de acompanhamento da produção e a descontinuidade do produto no mercado. A maioria dos autores considera que o desenvolvimento de produtos se encerra com o lançamento do produto no mercado, mas o modelo inova ao englobar as atividades de acompanhamento da produção e a descontinuidade do produto no mercado. Na seção 3.1.1 o Modelo Unificado será abordado em maiores detalhes.

Quanto aos fatores de sucesso do desenvolvimento de produtos, Brown e Eisenhardt (1995) identificaram os seguintes elementos:

- Composição do time de projetos: de preferência, o time deve ser composto por indivíduos de diversas funções, porque um time que inclui diferentes competências possui uma visão mais holística.
- Atuação dos *gatekeepers*: Ou seja, dos aprovadores das fases (*gate*), que são indivíduos que frequentemente buscam e obtêm informação externa e compartilha com o time. O resultado é um aumento na quantidade e variedade das informações disponíveis no projeto de desenvolvimento.

- Comunicação: de acordo com os autores, diversos estudos concluem que a comunicação é o fator mais importante para atingir um projeto de desenvolvimento eficaz e efetivo. A frequente comunicação interna constrói a coesão do time, reduz os mal-entendidos e barreiras de interação, enquanto que a frequente comunicação externa dá abertura ao time de projeto para novas informações que podem ser úteis ao longo do processo de desenvolvimento.
- Influência do líder de projeto: O líder de projeto que possui poder para tomada de decisão, vasta autoridade organizacional e alto nível hierárquico acaba por aumentar o desempenho do processo, uma vez que suas ações são efetivas para obter recursos para o time de projetos.
- Apoio da alta gerência: Essencial para garantir recursos financeiros e humanos, além de decidir continuar ou não com um projeto. A alta gerência deve permitir autonomia suficiente para que o time permaneça motivado e criativo, mas perto o bastante para assegurar o andamento do projeto, alinhado com a estratégia do negócio.
- Envolvimento dos fornecedores e clientes: Envolver os fornecedores pode reduzir a complexidade e conseqüentemente contribuir para o sucesso de um projeto. O envolvimento do cliente também foi identificado como fator de sucesso. Se há falta de ligação direta com o cliente, há risco de tomar decisões erradas, deixar de identificar soluções inovadoras e ter baixo comprometimento para atender às necessidades do cliente.

3.1.1. Modelo Unificado

O modelo de referência proposto por Rozenfeld et al. (2006), conhecido como Modelo Unificado e ilustrado na Figura 2, é voltado principalmente para empresas de

bens de consumo duráveis e de capital, podendo ser adaptado para outras empresas. De acordo com os autores, esse modelo é genérico, podendo ser utilizado como base para definição de um modelo específico, adaptado à realidade de cada empresa.

Figura 2 - Modelo Unificado (ROZENFELD et al., 2006)

Esse modelo apresenta 3 macrofases: Pré desenvolvimento, Desenvolvimento e Pós desenvolvimento. A conclusão de uma fase é determinada pela entrega de um conjunto de resultados. Estes resultados determinam um novo patamar de evolução do PDP e estes permanecem congelados a partir do momento que a fase é finalizada. A transição de fase (*gate*) ocorre com um processo formal que envolve uma revisão ampla e minuciosa das saídas da fase. Avalia-se 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.

Em relação a duração de cada fase, de modo geral, o pré desenvolvimento é a fase mais curta, podendo durar dias. O desenvolvimento é a fase intermediária e

tipicamente dura meses para empresas de manufatura discreta. O pós desenvolvimento é a fase mais longa e geralmente dura anos ou até décadas (ROZENFELD et al., 2006).

O pré desenvolvimento é importante para garantir foco nos projetos prioritários definidos pelos critérios da empresa; uso eficiente dos recursos de desenvolvimento; início mais rápido e eficiente; e critérios claros para avaliação dos projetos em andamento. Nesta etapa define-se o portfólio de produtos da empresa e as datas de início de desenvolvimento e lançamento (ROZENFELD et al., 2006). Os objetivos dessa macrofase são: 1) Garantir melhor decisão sobre o portfólio dos produtos e projetos e 2) Garantir que haja uma definição clara e um consenso mínimo sobre o objetivo geral final de cada projeto.

Oliveira (2009) avaliou seis modelos de referência das atividades do pré desenvolvimento e observou que o Modelo Unificado proposto por Rozenfeld et al. (2006) mostrou-se limitado em relação à definição de estratégias de produtos e à geração de ideias de novos produtos, pois não entra em detalhes sobre as atividades dessas fases. Já para a gestão da introdução de novos projetos de produtos, Rozenfeld et al. (2006) apresentam um conjunto detalhado de atividades.

Além disso, Oliveira (2009) afirmou que o modelo proposto por Crawford e Benedetto (2006) mostrou-se o mais completo dos que avaliou. Os autores descrevem detalhadamente as principais fases do pré desenvolvimento e apresentam melhores práticas, métodos e ferramentas usadas pelas atividades de cada uma dessas fases.

Por causa dessa limitação identificada no Modelo Unificado, o modelo proposto por Crawford e Benedetto (2006) é utilizado como referência nesse trabalho para as duas primeiras fases do pré desenvolvimento, ou seja: 1)

Identificação e seleção de oportunidades de produtos e 2) Geração de conceitos de produtos. O Modelo Unificado proposto por Rozenfeld et al. (2006) será utilizado como referência para as últimas fases do pré desenvolvimento: Planejamento Estratégico de Produtos (PEP) e Planejamento do Projeto.

Uma vez aprovado o projeto, inicia-se a macrofase de Desenvolvimento do produto, cuja conclusão é determinada pelo lançamento do produto (ou conjunto de produtos). De acordo com Rozenfeld et al. (2006), o desenvolvimento é subdividido nas seguintes fases:

Projeto Informacional: O objetivo é desenvolver um conjunto de informações (especificações-meta do produto) que devem orientar a geração de soluções e fornecer a base onde serão montados os critérios de avaliação e de tomada de decisão utilizados nas etapas seguintes do desenvolvimento.

Projeto Conceitual: As soluções de projeto são geradas e estudadas detalhadamente até chegar a melhor solução possível que atenda as especificações-meta.

Projeto Detalhado: A concepção do produto é detalhada e transformada em Especificações Finais. Os componentes são integrados sucessivamente em subsistemas e sistemas. Nesta etapa também são gerados o protótipo funcional, o projeto dos recursos e o plano de fim de vida. Quando o protótipo é aprovado, o produto pode ser homologado e as especificações finais são congeladas.

Preparação da Produção: O objetivo dessa fase é colocar o produto no mercado, atendendo aos requisitos dos clientes levantados na fase de projeto informacional e cumprindo as especificações finais do projeto do produto e processo de fabricação, criadas nas fases de projeto conceitual e projeto detalhado.

Lançamento do produto: Essa fase apresenta os mesmo objetivos que a fase anterior, mas enquanto aquela fase trata de todas as atividades da cadeia de suprimento do ponto de vista interno, a fase de lançamento envolve o desenho dos processos relacionado à colocação do produto no mercado, ou seja, às ações de venda e distribuição, atendimento ao cliente e assistência técnica, e as campanhas de *marketing*.

Uma vez lançado o produto, inicia-se a macrofase de pós desenvolvimento, através do acompanhamento sistemático e da documentação correspondente as melhorias de produto ocorridas durante o ciclo de vida. Essa macrofase também compreende a retirada sistemática do produto do mercado, fazendo com que os requisitos de gestão do meio ambiente sejam considerados. A retirada do produto pode envolver resuo (ou parte deste), desmontagem e utilização das partes ou materiais, reciclagem ou descarte completo.

Além disso, no pós desenvolvimento ocorre uma avaliação do ciclo de vida, para que as experiências acumuladas sirvam de referência para futuros desenvolvimentos. Nesse momento, averigua-se o grau de acerto do planejamento econômico realizado anteriormente e as atualizações durante o ciclo de vida, a fim de criar um padrão de provisões.

Os projetos de desenvolvimento de produtos podem ser classificados por diversos critérios, com o objetivo de gerenciá-los de maneira mais efetiva. O tópico a seguir aborda as diferentes abordagens de tipologia de projetos e sua importância estratégica.

3.1.2. Tipologia de projetos de desenvolvimento de produtos

O entendimento das principais interpretações tipológicas dos projetos possibilita a compreensão das características amplas dos projetos e contribui para melhor relacioná-los à estratégia (LEITE; FILHO, 2009). Dvir e Shenhar (1996) propuseram uma tipologia de projetos, considerando como variável dependente o sucesso do projeto e estabeleceram duas dimensões para a classificação dos projetos: incerteza tecnológica e escopo do sistema. De acordo com os autores, estas diferenças implicam na adoção de diferentes padrões, estilos e práticas gerenciais. Ou seja, a gestão do projeto depende diretamente do nível de conhecimento a ser utilizado na execução do projeto e do seu tamanho.

Aprofundando a discussão sobre tipologia de projetos, Shenhar (2001) propôs a classificação prévia dos projetos antes da fase de iniciação, a fim de definir o estilo gerencial correspondente a cada tipo de projeto. Identificou-se a necessidade de se adaptar as práticas de gerenciamento de projetos ao tipo de projeto definido. Além de disso, sugeriu-se buscar o equilíbrio entre riscos e oportunidades nos projetos. O autor afirma que não há um modelo padrão para gerenciar qualquer projeto, ou seja, diferentes tipos de projeto exigem diferentes formas de gestão. Shenhar (2001) acredita que classificar e caracterizar projetos antes de iniciá-los pode levar a uma melhor implementação e aumentar as chances de sucesso.

Shenhar e Dvir (2007) afirmam que a abordagem tradicional de gerenciamento de projetos é baseada em modelos previsíveis, fixos e relativamente simples. Após a implementação do projeto, o progresso e desempenho são avaliados baseados no plano. As mudanças devem ser raras e, se possíveis, evitadas. De acordo com os autores, há 2 diretrizes nesse tipo de gerenciamento:

- 1) Três restrições: gerentes de projeto avaliam o sucesso do trabalho baseado se o projeto foi completado dentro do prazo, dentro do orçamento e dentro dos objetivos (ou requisitos). Desvios desses 3 parâmetros devem ser evitados ou corrigidos.
- 2) Um modelo serve para tudo: Muitos executivos e gerentes assumem que todos os projetos são iguais e esperam ter sucesso simplesmente seguindo um conjunto de atividades padrões.

No entanto, quando executivos e times se esforçam para focar nas 3 restrições, frequentemente perde-se de vista o racional de negócio atrás dos projetos: devem satisfazer o consumidor e atingir resultados para o negócio, e não apenas atender aos requisitos do projeto. E quando tenta-se seguir um conjunto de atividades padrões, é comum empregar-se a abordagem errada para determinado projeto (SHENHAR; DVIR, 2007).

De acordo com Shenhar e Dvir (2007), atualmente os projetos são incertos, complexos e mudam ao longo do tempo. São fortemente influenciados pela dinâmica do ambiente, tecnologias e mercados. Na maioria dos projetos, não se pode assumir que o plano inicial vai se manter até o final. Mudanças irão acontecer e planos devem ser ajustados. A extensão da imprevisibilidade, contingência e mudança será diferente para cada tipo de projeto. Para os autores, o gerenciamento de projetos deverá considerar as características dos projetos para definir o modelo gerencial.

Desta forma, ao evoluir no estudo tipológico, Shenhar e Dvir (2007) desenvolveram o modelo Diamante (Figura 3), que estabelece uma clara compreensão sobre como os projetos podem ser classificados antes de se definir o modelo gerencial a ser empregado para execução do projeto de forma alinhada à estratégia. O modelo é baseado em 4 dimensões do projeto:

- 1) Novidade – Incerteza dos objetivos do projeto, do mercado ou de ambos. Mede o quão novo o produto é para consumidores, usuários, mercado e portanto o quão claros e definidos são os requisitos do produtos.
- 2) Tecnologia – Incerteza tecnológica, determinada pela quantidade de tecnologia nova que o projeto requer.
- 3) Complexidade – Complexidade do produto, da tarefa e da organização do projeto.
- 4) Ritmo – Grau de urgência, ou seja, quanto tempo há para completar o trabalho.

Figura 3 - Modelo Diamante (SHENHAR; DVIR, 2007)

De acordo com os autores, essas dimensões devem ser os fatores determinantes das escolhas estratégicas relacionadas ao projeto. A exata definição dos tipos de projeto é um requisito para estabelecer a estratégia. Portanto, o modelo Diamante favorece o alinhamento estratégico ao consolidar os elementos característicos dos projetos que os diferenciam e afetam o gerenciamento.

Shenhar e Dvir (2007) ressaltam que projetos não são uma coleção de atividades que devem ser completadas dentro do prazo. Os autores afirmam que projetos são processos de negócio que devem entregar resultados ao negócio. Muitos projetos não são previsíveis e certos. Em vez disso, envolvem altas complexidades e incertezas e devem ser gerenciadas de modo flexível e adaptivo. Os autores não sugerem eliminar a abordagem tradicional, pois a abordagem adaptativa se baseia nela. Muitos elementos do gerenciamento tradicional de projetos continuam sendo essenciais e a proposta é torná-los mais flexíveis.

Em relação aos projetos de desenvolvimento de produtos, Rozenfeld et al. (2006) afirmam que a forma mais comum e útil de classificar é baseada no grau de mudanças que o projeto representa em relação a projetos anteriores, sendo que essa classificação depende das especificidades de cada setor. A Figura 4 mostra os tipos de projetos de desenvolvimento de produtos baseados na inovação, de acordo com Rozenfeld et al. (2006).

Figura 4 - Tipos de projetos (ROZENFELD et al., 2006)

Os autores classificam os projetos como:

- a) **Projetos Incrementais ou Derivados:** desenvolvem produtos e processos derivados, híbridos ou com pequenas modificações em relação às soluções existentes. Inclui-se projetos de redução de custo e inovações incrementais. Exigem menos recursos, pois partem de produtos ou processos existentes. Em geral, as fases e atividades iniciais da macrofase de desenvolvimento podem ser simplificadas, pois a concepção do produto não sofrerá modificações profundas.
- b) **Projetos Próxima Geração ou Plataforma:** geralmente envolvem alterações significativas no projeto do produto e/ou do processo, sem a introdução de novas tecnologias ou materiais, mas representando um novo sistema de soluções. Esse pode representar uma próxima geração de um produto anteriormente existente ou pode representar uma estrutura básica do produto que seria comum entre diversos modelos que formam uma família de produtos. Os autores afirmam que o Modelo Unificado deve ser usado de forma completa nesse tipo de projeto, ou seja, deve-se executar todas as fases e atividades.
- c) **Projetos Radicais:** envolvem modificações significativas no projeto do produto ou no processo existente, podendo criar uma nova categoria ou família de produtos. Novas tecnologias e materiais são incorporados e portanto normalmente também exigem um processo de manufatura inovador. Não ocorrem com muita frequência e os autores afirmam que o Modelo Unificado também deve ser usado de forma integral.
- d) **Projetos de Pesquisa Avançada:** o objetivo desse tipo de projeto é criar conhecimento para projetos futuros. Normalmente esses projetos são

precursores do desenvolvimento comercial, não tendo objetivos comerciais de curto prazo. Não se trata de um projeto de desenvolvimento de produtos propriamente dito e são mais raros nas empresas em geral.

- e) Alianças ou Projetos de Parceria: projetos conduzidos por meio de alianças ou parcerias com outras empresas ou instituições. A diferenciação em relação aos demais projetos não está no grau de mudança incorporado, mas no fato de ser conduzido fora do âmbito da empresa ou em parceria com outras empresas.

Como consequência dos diferentes tipos de projetos mencionados anteriormente, há uma diferença no nível de esforço gasto durante o projeto. Esse fato é ilustrado na Figura 5, onde o comprimento de cada fase indica o grau de esforço. Um grande esforço significa realizar todas as atividades da fase e utilizar todas as técnicas. Nessa figura, todos os tipos de projetos estão com o mesmo tamanho para enfatizar a diferença relativa de esforços entre as fases. No entanto, é importante esclarecer que os projetos radicais (primeiro tipo de projeto ilustrado na figura) são mais complexos e inovadores. Por isso, geralmente apresentam maior duração e exigem a execução completa de todas as fases. Muitas vezes esses tipos de projeto são utilizados para explorar um novo segmento de mercado em que a empresa ainda não atua.

Figura 5 - Versões do modelo de referência específico (ROZENFELD et al., 2006)

Ainda na Figura 5, o segundo tipo de projeto representa um projeto de plataforma, que não apresenta ao mesmo tempo complexidade e inovação altas. Por isso, há uma relativa simplificação do modelo de referência, com um planejamento de projeto menos detalhado e simplificações na fase de desenvolvimento. Nesse caso, o projeto conceitual e informacional podem ser agrupados em uma única fase. As fases subsequentes também podem ser simplificadas, agrupadas ou até excluídas.

No terceiro tipo de projeto da Figura 5 há uma maior simplificação do modelo. Consequentemente, há uma maior redução e simplificação do planejamento, projeto informacional e conceitual. Esses projetos envolvem um nível de complexidade e novidade com nível intermediário ou baixo, sendo representados por projetos de

derivações usuais ou convencionais a partir de plataformas de produtos já bem estabelecidos na empresa.

Por fim, os projetos incrementais (quarto tipo de projeto da Figura 5) apresentam baixa complexidade e novidade. Nesse caso, há uma simplificação ainda maior nos projetos informacional e conceitual, uma vez que muitas informações sobre produtos existentes serão aproveitados. O modelo concentra-se na preparação da produção e lançamento do produto, podendo exigir o mesmo nível de esforço que um projeto mais complexo requer.

Por sua vez, Rainey (2005) utilizou, a partir da característica incerteza do projeto, os atributos incerteza sobre o mercado e incerteza tecnológica para criar uma tipologia para projetos de desenvolvimento de produtos. O autor combinou diferentes valores (alto, médio, baixo) de cada um dos dois atributos, chegando a 8 tipos diferentes: inovação radical, ruptura tecnológica, produto novo para o mundo, produto com escopo global, reposicionamento de produto, nova geração, produtos derivados e melhoria de produtos.

Chapman e Hyland (2004) discutem a complexidade como dimensão na tipologia de projeto de desenvolvimento de produto. Os atributos que os autores tratam são: complexidade do processo de produção do produto, complexidade da tecnologia e complexidade do produto. Além disso, os autores avaliam como esses atributos afetam o sucesso das inovações de uma organização. Em relação à complexidade do produto, autores se referem tanto à complexidade da estrutura interna do produto (SHENHAR, 2001; CLARK; FUJIMOTO, 1991) como também à complexidade externa do produto, relacionada à interface que o cliente terá com o produto (CLARK; FUJIMOTO, 1991).

De acordo com Brown e Eisenhardt (1995), a estrutura do PDP afeta o desempenho do desenvolvimento do produto. Um processo que é extensamente planejado e que inclui estágios sobrepostos pode ser o mais apropriado para o desenvolvimento de produtos estáveis e relativamente maduros (por exemplo, carros). Para produtos associados a mudanças mais rápidas (como computadores), que envolvem um maior grau de incerteza, um processo de desenvolvimento caracterizado por iterações frequentes, diversos testes e prazos curtos pode ser o mais adequado. De acordo com os autores, a lógica por trás é que sob condições de incerteza, faz menos sentido planejar.

As diferentes abordagens tipológicas dos projetos revelam que os projetos possuem diferenças quanto à importância estratégica e que cada tipo requer uma abordagem distinta de gerenciamento. Tal constatação também estabelece o entendimento de que o alinhamento estratégico não será obtido da mesma forma para todos os projetos (LEITE; FILHO, 2009). Dessa forma, a importância de classificar os projetos está na necessidade de planejar estrategicamente e de forma conjunta todos os projetos de desenvolvimento, os quais possuem relevância e necessidades de recursos específicas a cada caso. Com isso, assegura-se que se tenha a quantidade adequada de recursos para coordenar e executar diversos projetos, conseguir eficiência nas atividades realizadas e obter um padrão adequado de inovação dos produtos da empresa (ROZENFELD et al., 2006). Além disso, entender as características dos vários tipos de projetos permite uma melhor compreensão dos desafios de executá-los (DANNEELS, 2002).

3.2. Integração de aspectos ambientais no projeto e desenvolvimento do produto (*Ecodesign*)

3.2.1. Histórico

Desde o início do século XVIII, a sociedade industrial cresceu e estimulou o aumento da produção de bens e serviços. Durante a segunda metade do século XX, o setor industrial tornou-se consciente dos impactos negativos gerados pelas atividades humanas. Isso induziu a reatividade e o desenvolvimento de um novo comportamento com o objetivo de evitar os estragos ambientais (JACQUEMIN et al., 2012). A Figura 6 ilustra a evolução da resposta industrial às questões ambientais.

Figura 6 - Resposta industrial aos problemas ambientais (JACQUEMIN et al., 2012)

Nas décadas de 60 e 70, as soluções ambientais dos produtos estavam relacionadas a medidas de “fim de tubo” e soluções de reparo, focando no cumprimento da legislação e tendo o objetivo de evitar uma imagem negativa no mercado. Nessa época, essa abordagem implicava na instalação de estruturas industriais (por exemplo: filtros e estações de tratamento de resíduos), que resultavam no aumento do custo operacional (LEMOS, 2000). Já nas décadas de 80 e 90, a eco-eficiência tornou-se a palavra de ordem, caracterizado pelo redesenho de produtos existentes (HAUSCHILD; JESWIET; ALTING, 2005). A ênfase era eliminar substâncias perigosas, desenvolver a produção mais limpa, viabilizar a reciclagem das embalagens e o gerenciamento da energia para o modo *standby* (STEVELS, 1999).

Verificou-se que muitas atividades que focavam a redução dos efeitos ambientais também levam a redução nos custos, como por exemplo: redução do peso e volume das embalagens, uso de materiais reciclados, redução do tamanho e do uso de materiais em produtos eletrônicos e redução no tempo de desmontagem (STEVELS, 1999). No entanto, as oportunidades de ganho rápido (“*quick wins*”) tendem a se esgotar. Para reduzir os danos ambientais relacionados aos produtos de forma contínua e efetiva, não é suficiente modificar superficialmente o produto, os componentes ou a embalagem. Deve-se questionar profundamente sobre o produto, sua função e desenvolver conceitos inovadores (MILLET et al., 2007).

A abordagem proativa ganhou espaço ao focar na identificação de oportunidades para reduzir desperdícios e efeitos ambientais. A ideia básica é aumentar as vendas oferecendo ao mercado produtos com um bom desempenho em todos os aspectos, incluindo a ambiental (STEVELS, 1999). No entanto, é importante ressaltar que, no mesmo período, o número de consumidores aumentou

drasticamente, anulando alguns ganhos ambientais. Atualmente, enquanto algumas empresas ainda estão na “fase de reparo”, outras já focam além da eco-eficiência, incluindo as questões sociais e éticas dentro das operações (HAUSCHILD; JESWIET; ALTING, 2005).

Do ponto de vista mais amplo da sustentabilidade, Kiron et al. (2013) observaram que muitas empresas estão mudando o modelo de negócio para gerar lucros através de esforços sustentáveis, sendo chamadas de Empresas Inovadoras baseadas na Sustentabilidade. De acordo com os autores, essa inovação do modelo de negócio olha além do produto, serviço ou tecnologia, aprofundando a análise nas questões fundamentais do que a empresa oferece e para quem. Essas companhias tendem a trabalhar muito mais focadas no cliente e próximo a diversos *stakeholders*. Governos, organizações políticas e ONG continuam a exercer papel fundamental, mas deixam de ser limitadores e passam a ser parceiros para trocar de experiências e construir soluções baseadas na sustentabilidade. Nessas empresas também há maior colaboração com os competidores, fornecedores e além das suas unidades de negócio.

Dentro desse contexto, a tendência de desenvolvimento sustentável está levando diversas companhias a considerar a avaliação ambiental durante o desenvolvimento do produto. O time de desenvolvimento é constantemente desafiado com as questões ambientais mais relevantes e como considerá-las nos produtos que estão sendo desenvolvidos. De modo particular, é bastante relevante entender como as mudanças no projeto do produto podem afetar o desempenho ambiental, já nos estágios iniciais do desenvolvimento (SOUSA; WALLACE, 2006).

Assim, as expressões *Design for the Environment* (DfE) e *Ecodesign* são utilizadas como sinônimos e significam incluir de forma sistemática no processo de

desenvolvimento de produtos as questões ambientais, considerando todo ciclo de vida, com o objetivo de minimizar os impactos ambientais sem comprometer os demais requisitos do produto, como desempenho, funcionalidade, qualidade e custo (CHARTER; TISCHNER, 2001; FIKSEL, 1993; JACQUEMIN et al., 2012; JOHANSSON, 2002; KARLSSON, LUTTROPP, 2006; KEOLEIAN, 1993; POUDELET et al., 2012; LEWIS et al., 2001; STEVELS, 1999). O *Ecodesign* é essencial para as companhias que reconhecem que a responsabilidade ambiental é vital para o sucesso sustentável a longo prazo, uma vez que promove diversas melhorias como: inovação, aumento da qualidade, atendimento à legislação, melhoria na imagem, redução de custos e riscos, novas oportunidades de negócio e desenvolvimento de novos mercados (WIMMER et al., 2010).

Karlsson e Luttrupp (2006) ressaltam que o conceito sobre a função de *design* mudou, passando de “atender a necessidades” para “estimular desejos”, fazendo com que o objetivo das empresas ao desenvolver novos produtos não seja apenas atender às necessidades funcionais, mas também construir uma imagem e desejo. Por isso, outro aspecto que o *Ecodesign* deve abordar é o consumo sustentável, relacionado à redução do volume de consumo e de “desejo”. Como forma de resolver esse paradoxo, os autores sugerem buscar a “satisfação”, passando a definir o *Ecodesign* como forma de aumentar a satisfação humana para buscar o desenvolvimento sustentável.

Atualmente, observa-se um período integrado e de avanço contínuo. A ISO 14062 (2002) foi estabelecida visando a inclusão de aspectos ambientais no projeto e desenvolvimento do produto, o que permite a integração da preocupação ambiental logo nos estágios iniciais do desenvolvimento. Essa norma fornece uma visão geral do que deve ser feito em cada fase do desenvolvimento de produto

(TINGSTRÖM; SWANSTRÖM, KARLSSON, 2006). Com o desenvolvimento da ISO 14062, os princípios do *Ecodesign* estão se tornando mais estruturados e começaram a ser aplicados em diversos setores (JACQUEMIN et al., 2012).

Pigosso, Rozenfeld e McAloone (2013) observaram que, apesar da grande quantidade de ferramentas e técnicas de *Ecodesign* disponíveis, estas não estão nem organizadas/sistematizadas, nem sendo utilizadas sistematicamente pelas companhias dentro dos processos de desenvolvimento de produto. Baseados nessa observação, os autores desenvolveram um modelo de maturidade desenvolvida através de uma ampla sistematização das práticas de *Ecodesign* com o objetivo de suportar companhias no processo contínuo na implementação do *Ecodesign*. O modelo foi desenvolvido de forma que a companhia seja capaz de capturar sua situação atual e suportar a sua melhoria contínua. Os níveis de maturidade são definidos pela combinação dos níveis de evolução e capacidade em relação ao *Ecodesign* da empresa. Uma vez identificada o nível de maturidade, o modelo sugere as práticas a serem adotadas para aumentar o nível de maturidade da empresa.

Já Brones, Carvalho e Zancul (2014) avaliaram os pontos de intersecção entre *Ecodesign* e gerenciamento de projetos. Apesar de encontrarem poucas referências na literatura, os autores concluíram através de um estudo de caso que ao aprofundar os relacionamentos entre a dimensão ambiental e o gerenciamento de projeto, pode-se aumentar a efetividade do *Ecodesign* aplicado nas empresas. Essa intersecção pode ajudar a construir conhecimento, a gerar recomendações práticas e diretrizes para o gerenciamento do *Ecodesign*.

3.2.2. O Paradoxo do *Ecodesign*

As decisões feitas por uma companhia influenciam diversas áreas durante o ciclo de vida dos produtos. Na busca pela sustentabilidade, a responsabilidade da companhia é estendida de forma a cobrir não apenas os processos internos, mas também outras atividades causadas pelas demandas da empresa aos fornecedores. Além disso, as responsabilidades da companhia também se estendem ao tratamento do produto, até seu fim de vida. Uma companhia que quer operar de modo sustentável deve pensar em toda a cadeia do produto, ou seja, em todo ciclo de vida (HAUSCHILD; JESWIET; ALTING, 2005).

Sabe-se que os estágios iniciais do desenvolvimento apresentam as maiores influências na definição do perfil ambiental de um produto (DEVANATHAN et al., 2010; NIELSEN; WENZEL, 2002). De acordo com Rozenfeld et al. (2006), uma das características do desenvolvimento de produtos é o alto grau de incerteza no início do projeto. Porém, é nesse momento que são realizadas as escolhas de soluções de projeto (materiais, conceitos, processos de fabricação...) que determinam cerca de 85% do custo final do produto. Ao longo do projeto, as decisões são tomadas, tornando as informações sobre o produto mais precisas e o custo as modificações cada vez mais elevadas.

Lewis et al. (2001) observaram que o estágio inicial é geralmente considerado o melhor momento de considerar as questões ambientais, pois nessa fase são definidos 70% dos impactos ambientais do produto e até 85% dos custos finais. Diversos autores (CHARTER; TISCHNER, 2001; GRAEDEL; ALLENBY, 1995; HAUSCHILD; JESWIET; ALTING, 2005; KEOLEIAN, 1993; NIELSEN; WENZEL, 2002; POUDELET et al., 2012) afirmam que nos estágios iniciais do desenvolvimento, as oportunidades de melhoria ambiental são amplas, mas as

informações disponíveis do produto são escassas. O impacto ambiental de um produto é determinado nas fases iniciais de desenvolvimento e, conforme o projeto do novo produto evolui do estágio de ideia para o projeto detalhado e depois para a produção, o conhecimento do produto, incluindo o conhecimento sobre o perfil ambiental, aumenta significativamente. Por outro lado, escolhas feitas ao longo do processo de desenvolvimento de produto acabam estabelecendo as propriedades e a possibilidade de alterar o desempenho ambiental é reduzida. A Figura 1 apresentada na introdução deste trabalho ilustra o fenômeno do Paradoxo do *Ecodesign*.

3.2.3. Caracterização do *Ecodesign*

Os impactos ambientais do ciclo de vida de um produto devem ser considerados durante a avaliação da viabilidade do conceito, juntamente com outros critérios tradicionais de desenho, como desempenho e custo (STEVELS, 1999; NIELSEN; WENZEL, 2002). Isso exige que o time de desenvolvimento deve estar apto a avaliar o desempenho ambiental de diversas alternativas conceituais logo no início de desenvolvimento (SOUSA; WALLACE, 2006).

Vezzoli e Sciama (2006) observaram que diversas ferramentas foram desenvolvidas para atender aos objetivos do *Ecodesign* na última década: a) ferramentas para avaliar o ciclo de vida dos produtos; b) ferramentas para apoiar a concepção e desenvolvimento do produto; c) ferramentas estratégicas de desenvolvimento para sustentabilidade e d) ferramentas de comunicação ambiental. Já Deutz et al. (2013) argumentam que para o *Ecodesign* tornar-se mais efetivo, as necessidades de sustentabilidade devem ser estabelecidas como um requisito funcional formal dentro de um processo estruturado para todos os produtos.

Le Pochat, Bertoluci e Froelich (2007) classificaram as ferramentas de *Ecodesign* em 2 grupos: a) com abordagem qualitativa. Exemplos: diretrizes, estratégias, princípios e listas de materiais proibidos ou não recomendados (geralmente conhecidas como “lista negra” ou “lista cinza”) e b) com abordagem quantitativa ou semi-quantitativa. Exemplos: Matriz MET (Materiais, Energia e Toxicidade) e ACV (Avaliação de Ciclo de Vida)

De acordo com Barreto (2007), as propostas restritas a abordagem qualitativa têm encontrado grande dificuldade de aplicação prática, muitas vezes limitando as possibilidades de integração ou promovendo integrações inadequadas. Além disso, a impossibilidade de quantificar os parâmetros ambientais qualitativos é uma das principais causas da não-inclusão dos requisitos ambientais durante a fase de projeto do produto.

Pigosso (2008) realizou uma revisão bibliográfica sistemática para levantar os métodos e ferramentas de *Ecodesign*. A autora encontrou 105 ferramentas, que as classificou de acordo com diversos critérios, como:

- Natureza do objetivo principal do método: Prescritiva, Analítica ou Comparativa
- Tipo de ferramenta utilizada: *Checklist*, *Guideline*, Matriz ou *Software*
- Natureza dos dados de entrada e saída: Qualitativa ou Quantitativa

Dentre os métodos e ferramentas levantados por Pigosso (2008) destacam-se:

- a) DfE Matrix: Utilizado para a quantificação dos impactos ambientais potenciais de um produto por meio de uma matriz que avalia os aspectos ambientais em cada fase do ciclo de vida do produto. O preenchimento da matriz é feito de forma semi quantitativa e os resultados podem ser utilizados para comparar o

produto em desenvolvimento com um produto existente de referência ou para comparar diversas alternativas de produto.

- b) *Environmental Effect Analysis* (EEA): Ferramenta utilizada por um time multifuncional que lista todas as atividades que podem ter influência ambiental significativa, realiza um julgamento da quantidade e severidade de cada aspecto ambiental e sugere maneiras de reduzir o impacto do produto. Após aplicação das melhorias, uma nova análise é realizada para verificar a efetividade da melhoria.
- c) *Life Cycle Assessment* (LCA): é uma técnica de gerenciamento ambiental para avaliar aspectos ambientais e impactos potenciais associados ao ciclo de vida do produto. A técnica é baseada nas análises de fluxo de materiais e energia para um sistema de produto. Maiores detalhes dessa técnica encontram-se no item 3.3.
- d) *Quality Function Deployment for Environment* (QFDE): Incorpora aspectos ambientais na ferramenta QFD para desenvolver um produto considerando os requisitos de qualidade e ambientais simultaneamente.
- e) As dez regras de ouro: Desenvolvido por Luttrupp e Lagerstedt (2006), é um guia para orientar o desenvolvimento de produtos, com regras gerais a serem consideradas durante todo o desenvolvimento. É necessário customizar as regras de acordo com a natureza da empresa e dos seus produtos.

O processo de desenvolvimento depende de um time multifuncional e o envolvimento de diversas pessoas dentro e fora da companhia garantem uma visão mais ampla da função esperada assim como as necessidades que o novo produto deve satisfazer. De acordo com Millet et al. (2007), o *Ecodesign* requer um novo

integrante no processo de desenvolvimento, responsável por direcionar o time a tomar decisões considerando as questões ambientais. De acordo com os autores, sem essa figura, as questões ambientais tentem a perder prioridade. Além disso, se esse integrante não estiver conectado ao time durante todo o desenvolvimento, a atuação fica restrita a corrigir os problemas ambientais depois que a maioria das decisões foram tomadas.

Guelere (2009) propôs um modelo genérico para a gestão do processo de desenvolvimento de produtos com integração de práticas de *Ecodesign*. O modelo proposto foi baseado no Modelo Unificado para a gestão de PDP, apresentado por Rozenfeld et al. (2006). No entanto, ressalta-se que o modelo proposto não foi testado quanto a sua utilidade, pois não se encontrou uma empresa interessada em aplicar o modelo. Além disso, o tempo demandado para a instanciação do modelo apresentou-se inviável dentro do prazo de conclusão do trabalho.

Charter e Tischner (2001) afirmam que a integração das questões ambientais na estratégia corporativa da empresa é o estágio mais avançado de maturidade do *Ecodesign* e possibilita a maior possibilidade de ganhos ambientais. Os autores ainda apontam a integração das considerações ambientais na estratégia do negócio como forma de incorporar efetivamente o *Ecodesign* no processo de desenvolvimento de produtos. Uma das limitações comuns é o caráter piloto de muitas iniciativas. Quando estas são finalizadas, as empresas tendem a retornar às “condições usuais e o processo de melhoria perde a continuidade. Portanto, é necessário buscar mecanismos para que os esforços envolvidos no *Ecodesign* se tornem a nova condição normal, ou seja, que o *Ecodesign* seja incorporado na cultura da empresa.

3.2.4. Fatores de sucesso do *Ecodesign*

Apesar do potencial do *Ecodesign* contribuir para a sustentabilidade de um produto, Deutz et al. (2013) observaram que atualmente a prática limita-se muitas vezes apenas à manutenção dos requisitos mínimos legais. Frequentemente, ao invés de incorporar as considerações ambientais nos processos de inovação de produtos, essas questões são encaradas como restrições do PDP.

Johansson (2002) fez um levantamento dos fatores de sucesso para integração do *Ecodesign* no desenvolvimento de produtos, sumarizado no Quadro 3. O autor observou que a maioria desses fatores para integração do *Ecodesign* no PDP são os mesmos fatores para o sucesso do desenvolvimento do PDP como um todo. Por exemplo, o envolvimento com o fornecedor é crítico para aumentar a eficiência do processo de desenvolvimento, assim como aumenta o conhecimento sobre diferentes materiais e componentes, que pode apresentar grande ganho ambiental. Somente os fatores relacionados à competência e motivação são fatores de sucesso exclusivos da integração do *Ecodesign*. Desta forma, Johansson (2002) conclui que uma companhia que gerencia bem o processo de desenvolvimento apresenta grande possibilidade de ter sucesso em integrar *Ecodesign* no PDP.

Quadro 3 - Fatores de sucesso para integração do *Ecodesign* em desenvolvimento de produtos (JOHANSSON, 2002)

Área	Fator de sucesso
Gerência	Comprometimento e apoio ao time Metas ambientais claras estabelecidas Considerações ambientais são encaradas como problemas de negócio Considerar não só a dimensão operacional do <i>Ecodesign</i> , mas também a dimensão estratégica. Questões ambientais são incluídas quando a empresa estabelece a estratégia tecnológica
Relacionamento com o cliente	Forte foco no cliente é estabelecido Companhia treina os clientes nas questões ambientais
Relacionamento com fornecedor	Relacionamento estreito com o fornecedor é estabelecido
Processo de desenvolvimento	Questões ambientais são consideradas no início do processo de desenvolvimento Questões ambientais são integradas no processo de desenvolvimento convencional Atividades relacionadas às questões ambientais são introduzidas no PDP Princípios, regras e normas ambientais específicos para cada companhia são utilizados <i>Ecodesign</i> é utilizado em times multifuncionais Ferramentas de apoio ao <i>Ecodesign</i> são utilizadas
Competência	Educação e treinamento são fornecidos para o time de desenvolvimento de produtos Um especialista ambiental apoia as atividades de desenvolvimento Exemplos de boas soluções são utilizadas
Motivação	Um novo modo de pensar enfatizando a importância das considerações é estabelecido Existe um “ <i>environmental champion</i> ” (uma pessoa entusiasta capaz de inspirar a organização para considerar as questões ambientais) Indivíduos são encorajados a participar ativamente na integração do <i>Ecodesign</i> .

De forma prática, Tingström, Swanström e Karlsson (2006) relataram uma experiência de implementação bem sucedida de *Ecodesign* em uma grande companhia de tecnologia em energia e automação. Para essa implementação, os seguintes passos foram realizados:

- 1) Identificação de requisitos de sustentabilidade, baseado em leis, regulamentações, demandas do consumidor, riscos, materiais perigosos, entre outros;
- 2) Avaliação ambiental rápida, porém adequada dos produtos atuais, com o objetivo de identificar os aspectos ambientalmente relevantes a serem focados nos projetos;
- 3) Estabelecimento de objetivos ambientais, baseados nos aspectos ambientalmente relevantes, assim como estabelecimento de plano de ação para atender aos objetivos;
- 4) Comunicação do plano de ação para os membros do time de projetos e *stakeholders* importantes;
- 5) Implementação do plano de ação;
- 6) Acompanhamento para verificar se o plano de ação atendeu aos objetivos e documentação dos resultados.

Os autores identificaram que o principal fator de sucesso é incluir o processo de identificação de requisitos de sustentabilidade, estabelecimento dos objetivos e plano de ação como parte mandatória do processo de desenvolvimento. Além disso, os autores também ressaltaram a importância de disponibilizar ferramentas de uso fácil e rápido para apoiar o desenvolvimento de produtos considerando as questões

ambientais. Por fim, o apoio da alta gerência foi outro fator determinante identificado no trabalho.

Medeiros et al. (2014) realizaram uma revisão bibliográfica sistemática para identificar os fatores de sucesso para a inovação em produtos ambientalmente sustentáveis. Os autores agruparam os fatores nos seguintes grupos:

- 1) Conhecimento do mercado, leis e legislação: refere-se ao atendimento às expectativas dos clientes e sociedade, assim como a inteligência sobre os competidores e conhecimento da legislação ambiental aplicável.
- 2) Colaboração interfuncional: inclui o envolvimento dos parceiros internos (pesquisa e desenvolvimento, *marketing*, produção, finanças, logística) e externos (fornecedores, universidades, especialistas ambientais...) no processo de desenvolvimento de produtos.
- 3) Aprendizado voltado para a inovação: capacidade da organização de descontinuar processos identificados como obsoletos. Envolve a eliminação das barreiras culturais, o desenvolvimento de competências “verdes” e o desenvolvimento da capacidade de análise crítica reflexiva.
- 4) Investimentos em Pesquisa e Desenvolvimento: compreende os investimentos em pesquisa, infraestrutura e recursos humanos especializados necessários para aplicar tecnologias com melhor desempenho ambiental.

De modo complementar às observações feitas por Johansson (2002), Medeiros et al. (2014) identificaram diversas similaridades e diferenças entre os fatores de sucesso para a inovação em produtos ambientalmente sustentáveis

quando comparado aos fatores de sucesso relacionados ao PDP tradicional. Dentre as diferenças, os autores destacam que em um PDP onde a questão ambiental é incluída, além do conhecimento sobre os clientes e competidores, é extremamente importante conhecer as leis e regulamentações ambientais, assim como as políticas de incentivos financeiros e de informação orientadas para inovações ambientais. Além disso, os autores apontam que nesse tipo de desenvolvimento tende-se a desenvolver uma forte parceria com diversos parceiros visando aumentar a probabilidade de resolver desafios técnicos.

3.3. Avaliação de Ciclo de Vida (ACV)

A Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) é uma técnica de gestão ambiental que pode subsidiar a identificação de oportunidades para a melhorar o desempenho ambiental de produtos nas diferentes fases do ciclo de vida; aumentar o nível de informação para os diversos tomadores de decisão; além de aprimorar a seleção de indicadores de desempenho ambiental e a comunicação com o consumidor (ISO, 1997; ISO, 2006).

Para um produto exercer a função, este deve ser desenvolvido, produzido, distribuído até o consumidor e mantido durante o uso. A manufatura do produto exige diversos processos. Recursos devem ser extraídos e convertidos em materiais e/ou componentes, é necessário ter uma infra estrutura para o funcionamento da planta e para garantir condições de trabalho aos funcionários. Quando o produto não exercer mais a função, este deve ser reutilizado, reciclado ou descartado. O transporte de materiais liga fisicamente todas essas atividades. Todas essas ações causam impacto ambiental. Para uma análise total dos impactos ambientais causado

pelo produto ou serviço, o estudo deve focar o ciclo de vida completo do produto (HAUSCHILD; JESWIET; ALTING, 2005).

Os estudos de ACV tiveram início na década de 60 e, com a crise do petróleo em 1973, passou a ser o foco de diversos estudos, uma vez que a sociedade começou a se questionar sobre o limite dos recursos naturais, principalmente de combustíveis fósseis e de recursos minerais (HAUSCHILD; JESWIET; ALTING, 2005). Esse período, considerado como período de concepção, foi marcado por uma larga divergência de abordagens, terminologias e resultados, devido uma falta de comunicação internacional relacionado à metodologia empregada (GUINÉE et al., 2011; YOUNG; BYRNE; COTTERELL, 1997). O interesse por estudos de ACV enfraqueceu após a crise do petróleo, mas a atenção ressurgiu na década de 80, em decorrência do crescente interesse pelo meio ambiente (COLTRO, 2007).

Muitos estudos aparentemente iguais chegavam a conclusões diferentes devido a considerações feitas, fronteiras adotadas, idade dos dados, tecnologias, logística de abastecimento de matérias-primas e matriz energética. Assim, ficou evidente a necessidade de padronizar a técnica para manter a credibilidade dos resultados e manter a função de ferramenta de apoio para tomada de decisão (COLTRO, 2007).

Por isso, a década de 90 foi marcada pela proatividade e considerada como período de padronização (GUINÉE et al., 2011). A SETAC (*Society of Environmental Toxicology and Chemistry*) contribuiu nesse sentido criando em 1993 um método geral para conduzir uma ACV (JACQUEMIN et al., 2012). Em paralelo, a ISO (*International Standards Organization*) iniciou um processo global de padronização da ACV, o que resultou na série de 4 normas (ISO 14040 a ISO 14043) e que mais

tarde passou a ser composta por 2 normas: ISO 14040 e ISO 14044 (COLTRO, 2007).

Enquanto os grupos de trabalho da SETAC focavam no desenvolvimento e harmonização dos métodos, a ISO assumiu a tarefa formal de padronizar os métodos e procedimentos (GUINÉE et al., 2011). No entanto, a norma ISO nunca forneceu uma padronização detalhada, porque a instituição argumenta que não há um único método para conduzir uma ACV (JACQUEMIN et al., 2012).

O período atual é, de acordo com Guinée et al. (2011), a década da elaboração. O uso da ACV generalizou-se como técnica de avaliação ambiental, mas novas divergências do método apareceram. Como as normas da ISO são bastante amplas e não se propõem a desenvolver um método detalhado, muitos estudos foram conduzidos de acordo com a metodologia proposta pela ISO, mas com diferenças em relação à abordagem metodológica (JACQUEMIN et al., 2012). Em resposta a esse novo problema, um novo guia foi publicado pela *European Commission* em 2010, chamado de *International Reference Life Cycle Data System* (ILCD) Handbook com objetivo de fornecer diretrizes para ACV detalhadas, assim como base técnica para gerar critérios específicos por produtos, guias e ferramentas simplificadas (JRC-IES, 2010).

Muitos governos estão utilizando a ACV para análise de decisões com impacto na sociedade, como fonte analítica das Políticas Integradas de Produto, na rotulagem ambiental e em licitações públicas (HAUSCHILD; JESWIET; ALTING, 2005). De acordo com Berkhout e Howes (1997), a ACV é considerada uma das melhores técnicas para desenvolver políticas ambientais integradas e eficientes. Na indústria, o uso da ACV ainda é restrito, mas a prática vem aumentando progressivamente (JACQUEMIN et al., 2012). É utilizada para focar e comparar

alternativas no desenvolvimento de produtos, para documentação do desempenho ambiental e para apoiar decisões no gerenciamento ambiental. No entanto, o uso da ACV em países em desenvolvimento permanece incipiente ainda.

A ACV pode ser utilizada para diversos propósitos e em diferentes estágios do ciclo de vida (KEOLEIAN, 1993). A técnica foi tradicionalmente utilizadas para entender 3 tipos de problema: 1) avaliação de um único produto para aprender sobre os impactos ambientais, 2) comparação de rotas de processo durante o desenvolvimento de produtos ou processos alternativos, e 3) comparação de diversas alternativas para entregar uma dada função (BERKHOUT; HOWES, 1997). Uma nova abordagem para ACV é focar na concepção do produto, ou seja, nos estágios iniciais de desenvolvimento do produto (JACQUEMIN et al., 2012), que será melhor detalhado na seção 4.2.1.

3.3.1. Metodologia da ACV

A norma ISO 14040 (ISO, 1997) estabelece que um estudo de ACV é composto por quatro fases iterativas e interrelacionadas entre si. Há diversas aplicações diretas dos resultados, conforme pode ser observado na Figura 7.

Figura 7 - Fases de uma ACV e aplicações diretas (ISO, 1997)

O objetivo e escopo de uma ACV devem ser claramente definidos e devem ser consistentes com a aplicação pretendida (ISO, 1997). O objetivo deve apresentar a aplicação pretendida, as razões para execução do estudo, o público-alvo e se existe intenção de utilizar os resultados em afirmações comparativas a serem divulgadas publicamente (ISO, 1997). Um estudo pode ter uma ou mais aplicações. Além disso, a aplicação pode também estar associada com informações econômicas ou de aspecto social (JRC-IES, 2010).

Após o estabelecimento dos objetivos, o próximo passo é a definição do escopo, cujo objetivo é obter os requisitos em termos de metodologia, qualidade, relatório e revisão de acordo com o objetivo do estudo (JRC-IES, 2010). A definição do escopo inicia-se com a determinação das funções do produto, relacionadas com o desempenho esperado. Em seguida, define-se a unidade funcional, cujo propósito principal é fornecer uma referência para que os dados de entrada e saída sejam padronizados, exigindo que essa seja bastante clara e mensurável (ISO, 1997). Sem a função do sistema e a unidade funcional, não é possível obter uma comparação válida de produtos, pois a ACV é sempre baseada em uma descrição precisa e quantitativa da(s) função(ões) do sistema analisado (JRC-IES, 2010). Hauschild, Jeswiet e Alting (2005) salientam que uma característica fundamental da ACV é que o objeto de estudo deve ser definido inicialmente em termos da função ou serviço. Isso está de acordo com a natureza comparativa da maioria dos estudos de ACV. Para uma comparação justa, é essencial que os sistemas a serem comparados promovam a mesma função ao usuário.

Deve-se então determinar a quantidade de produto necessária para cumprir a função, resultando no fluxo de referência, sendo esse utilizado no cálculo das entradas e saídas do sistema (ISO, 1997). Segue-se para a definição das fronteiras

do sistema, onde são definidos os processos elementares que serão incluídos no sistema a ser modelado. Deve-se também estabelecer outros itens, como os procedimentos de alocação (quando aplicável), as categorias de impacto e metodologias para avaliação de impactos e subsequente interpretação, os requisitos de qualidade dos dados, limitações, entre outros.

Uma vez definido o objetivo e escopo, a próxima fase é a análise do inventário do ciclo de vida (ICV), que envolve a coleta de dados e procedimento de cálculo para quantificar as entradas e saídas relevantes de um sistema de produto (ISO, 1997). Esse processo é iterativo, pois à medida que os dados são coletados, amplia-se o conhecimento sobre o sistema. Como consequência, novos requisitos ou limitações podem ser identificados, exigindo mudanças nos procedimentos de coleta de dados de modo que os objetivos do estudo possam ser atingidos (ISO, 1997). Os dados qualitativos e quantitativos a serem incluídos no inventário devem ser coletados para cada processo elementar incluído na fronteira do sistema e são utilizados para quantificar as entradas e saídas de um processo elementar (ISO, 1997). Após a coleta de dados, deve ocorrer uma verificação da validade dos dados para confirmar e fornecer evidências de que os requisitos de qualidade dos dados foram atendidos.

É importante ressaltar que poucos processos industriais geram uma única saída ou são baseados em uma relação linear entre entradas de matérias-primas e saídas. De fato, a maioria dos processos industriais fornece mais de um produto e reciclam como matéria-prima produtos intermediários ou descartados (ISO, 1997). Deve-se aplicar o procedimento de alocação quando um processo apresenta múltiplas entradas e/ou saídas e quando essa multifuncionalidade não puder se

resolvida através de procedimento de divisão ou de expansão do sistema (JRC-IES, 2010).

A avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV) é a terceira fase e tem como objetivo estudar a significância dos impactos ambientais potenciais, utilizando os resultados do ICV. De modo geral, esse processo envolve associar dados de inventário com categorias de impacto específicas e indicadores de categorias. Nessa fase, as entradas e saídas dos fluxos elementares que foram coletadas e reportadas no inventário são associadas aos indicadores de impactos relacionados à saúde humana, aos ambientes naturais e ao esgotamento de recursos (JRC-IES, 2010). É importante ressaltar que os resultados da AICV devem ser vistos como indicadores potenciais de impactos relevantes, em vez de previsões de efeitos ambientais (JRC-IES, 2010).

A análise do inventário resulta em uma lista com diversas emissões de substâncias e consumo de diferentes recursos. Alguns desses fluxos são ambientalmente significantes, mesmo em quantidades relativamente pequenas, enquanto que outros não apresentam significância ambiental, mesmo em quantidades maiores. Desta forma, o objetivo da avaliação de impacto é traduzir as emissões nos impactos potenciais sobre as áreas de proteção, aplicando o melhor conhecimento disponível sobre as relações causais entre as emissões e os efeitos no ambiente. Para o consumo de recursos, a severidade considerada nas avaliações de impacto geralmente deriva da escassez de recursos (HAUSCHILD; JESWIET; ALTING, 2005).

A norma ISO não indica em detalhes um método de AICV, mas formaliza a ligação entre o inventário dos fluxos de referência e a avaliação dos fatores de impacto (JRC-IES, 2010). A AICV deve incluir a seleção de categorias de impacto, a

classificação dos dados da ICV às categorias e a caracterização dos resultados dos indicadores ambientais (ISO, 1997). Geralmente esses passos não são feitos pelos executores da ACV, mas é parte do trabalho de desenvolver os métodos de AICV. Os resultados podem ser somados dentro de cada categoria de impacto e o conjunto de dados resulta no perfil ambiental do produto. Os resultados das categorias podem apresentar diferentes unidades e portanto não podem ser comparadas diretamente para identificar qual é a mais relevante. Da mesma forma, estas categorias não podem ser diretamente somadas (JRC-IES, 2010).

A norma ISO 14044 (2006) afirma que, além dos elementos obrigatórios da AICV (seleção, classificação e caracterização), um estudo de ACV pode incluir outros elementos opcionais, como normalização, agrupamento, ponderação e análise da qualidade dos dados. A passagem do inventário para a avaliação de impacto é um dos passos mais difíceis da ACV, sendo largamente discutido na literatura e implicando em diversas inconsistências entre praticantes de ACV (JACQUEMIN et al., 2012). Existem diversos métodos desenvolvidos para a execução da AICV, como por exemplo: EDIP 97, Eco-Indicator 99, CML 2001, Impact 2002+, Impact World+ e TRACI. Os métodos de AICV ainda estão em desenvolvimento e, com excessão das categorias de impacto globais (mudanças climáticas e depleção do ozônio estratosférico), não há consenso sobre como modelar os impactos potenciais (HAUSCHILD; JESWIET; ALTING, 2005).

Por fim, a interpretação é a fase da ACV em que os dados das outras fases são avaliados conjuntamente, fornecendo resultados consistentes com o objetivo e escopo definidos, de forma a levar a conclusões, explicar limitações e fornecer recomendações (ISO, 1997). De acordo com a norma ISO 14044 (2006), as três atividades que devem ser executadas nesta fase são: 1) Identificação das questões

significativas com base nos resultados das fases de ICV e AICV, 2) Avaliação do estudo, considerando verificações de completeza, sensibilidade e consistência e 3) Conclusões, limitações e recomendações. O objetivo final dessa fase é chegar a conclusões, identificar limitações e fazer recomendações para o público alvo da ACV. As recomendações devem ser baseadas apenas nas conclusões e limitações observadas no estudo. Estas devem estar de acordo com o objetivo da ACV e especialmente com as aplicações pretendidas e o público alvo. As recomendações não devem ser gerais e devem ser feitas de modo conservador, baseado apenas nas observações significativas. Qualquer limitação encontrada durante a avaliação deve estar claramente mencionada na mensagem principal, inclusive no resumo (JRC-IES, 2010).

O uso prático de ACV e seus *softwares* na indústria revelou a necessidade de simplificações para diversas aplicações (ANDRIANKAJA; BERTOLUCI; MILLET, 2013; HAUSCHILD; JESWIET; ALTING, 2005, KEOLEIAN, 1993; POUDELET et al., 2012). Por isso, métodos simplificados de ACV foram desenvolvidos baseados na experiência com estudos completos.

Uma ACV simplificada é diferenciada de uma ACV completa pelo grau de detalhe que os dados primários são coletados e a complexidade do modelo de ciclo de vida. Geralmente uma ACV simplificada reduz o modelo e utiliza dados genéricos com o objetivo de obter indicações rápidas ao invés de quantificações detalhadas (CLUNE e LOCKREY, 2014). Dentro deste contexto, Adriankaja, Bertoluci e Millet (2013) dividiram as ACV simplificadas em cinco categorias:

- 1) Reduzir da quantidade de informação a ser coletada
- 2) Aumentar o uso de informações já conhecidas e/ou primárias

- 3) Reduzir da quantidade de tempo
- 4) Remover da carga de trabalho da modelagem do ciclo de vida
- 5) Facilitar a interpretação de resultados e melhorar o processo de decisão baseado em multicritérios

Adriankaja, Bertoluci e Millet (2013) desenvolveram uma ferramenta simplificada de avaliação que apresentava as seguintes características: uma relação entre os parâmetros de processo com as categorias de impacto (para facilitar o uso da ferramenta por pessoas sem experiência com ACV) e uma classificação ambiental do produto baseado na tipologia (para facilitar a apresentação dos resultados da ACV). A ferramenta desenvolvida pelos autores possui uma base de dados cujos parâmetros são variáveis que os envolvidos no desenvolvimento de novos produtos conseguem controlar (como por exemplo quantidade e tipo de matéria-prima, quantidade de material transportado, quantidade produzida...). Além disso, a ferramenta possui uma categorização ambiental por tipo de produto, com o objetivo de reduzir a quantidade de informação gerada, pois apenas os indicadores mais relevantes de uma determinada categoria são apresentados. Os resultados da ferramenta foram comparadas com os resultados de uma ACV completa, para garantir a acuracidade. Quanto às limitações, os autores apontam que a ferramenta é inadequada para projetos radicais e de novas tecnologias, uma vez que toda a base de dados deve ser criada nesses casos.

De forma similar, Okrasinski, Malian e Arnold (2012) criaram uma ferramenta simplificada baseada na ACV para o desenvolvimento de novos produtos relacionados à Tecnologia da Informação e Comunicação. O objetivo da ferramenta é estimar de forma fácil o perfil ambiental de diferentes tipos de *hardwares* e

equipamentos. Inicialmente, os pesquisadores classificaram os produtos em diferentes categorias, baseado nos perfis ambientais. Dentro de cada categoria de produto, identificou-se os componentes que apresentavam maior impacto ambiental, baseado em ACV detalhadas. Desses componentes críticos, identificou-se relações entre os atributos do componente com o perfil ambiental, possibilitando modelagens matemáticas que representem essas relações. Essas modelagens foram realizadas em todas as etapas do ciclo de vida (manufatura, transporte, uso e fim de vida). Com essas informações, desenvolveu-se uma ferramenta que estima o perfil ambiental baseado apenas nos parâmetros críticos do produto, focando nos aspectos do ciclo de vida identificados como relevantes.

Hur et al. (2005) desenvolveram e avaliaram a utilidade de uma ACV simplificada, assim como também avaliaram os resultados do método matricial *Environmental Responsible Product Assessment* (ERPA) para produtos eletrônicos. Os autores simplificaram a ACV, reduzindo o escopo ao excluir algumas fases do ciclo de vida. O método ERPA utiliza uma matriz semi-quantitativa, sendo que o desempenho ambiental de um produto é obtido baseado em 5 categorias ambientais e através de 5 estágios do ciclo de vida. A utilidade de ambos os métodos foi avaliado e comparado através de um estudo de caso com 2 produtos eletrônicos distintos. Os autores observaram que a ACV Simplificada e o método ERPA apresentaram diferentes resultados para um mesmo produto, havendo uma complementação dos resultados. Concluiu-se que a ACV simplificada pode ser mais útil no desenvolvimento de produtos totalmente novos, ou em produtos desenvolvidos onde a questão ambiental é um dos principais requisitos, desde o início do desenvolvimento. Por outro lado, o método ERPA gerou mais informação

no potencial de melhoria de um produto, podendo ser mais adequado para projetos incrementais, cujo objetivo é reduzir a carga ambiental de produtos existentes.

Já Poudelet et al. (2012), ao perceberem a dificuldade de usar a ACV no desenvolvimento de produtos, adaptaram a ACV para propor um sistema de apoio a decisão que considera a perspectiva de ciclo de vida no PDP. Os autores apresentaram um estudo de caso de um produto higiênico descartável e utilizaram informações sobre o perfil ambiental de um produto existente para desenvolver uma ferramenta para facilitar as decisões de desenvolvimento nos estágios iniciais do desenvolvimento. Através dessa ferramenta, é possível avaliar no início do desenvolvimento de novos materiais, componentes e alternativas de desenho sob uma perspectiva ambiental e de custos, utilizando a ACV como uma técnica preditiva ao invés de retrospectiva.

Russo e Rizzi (2014) apresentaram uma metodologia e uma plataforma para suportar os estágios iniciais do desenvolvimento na definição de três variáveis: formato, material e processo de manufatura do novo produto com o objetivo de obter um produto com menor impacto ambiental. O método consiste na integração de uma ACV simplificada a um programa de desenho técnico. Um otimizador estrutural é utilizado para gerar uma série de alternativas, juntamente com os dados ambientais de cada opção. Desta forma, o usuário é capaz de facilmente identificar os dados relevantes da ACV para ter uma visão geral e escolher a melhor opção de desenho.

Uma forma ainda mais simplificada de ACV são as matrizes que contêm uma escala pré definida do desempenho ambiental de produtos por meio da relação entre dois aspectos relevantes. Nesse contexto, a matriz MECO (HOCHSCHORNER e FINNVEDEN, 2003) estima o impacto ambiental de cada fase do ciclo de vida através de estimativas de quantidade de materiais (M), energia (E), químicos (C) e

outros materiais (O) utilizados durante o ciclo de vida do produto, sendo as informações estruturadas conforme o Quadro 4. Já a matriz MET (YARWOOD e EAGAN, 1998) classifica os impactos ambientais nas categorias Ciclo de materiais (M), uso de energia (E) e emissões tóxicas (T). Os resultados e os dados usados podem ser tanto qualitativos quanto quantitativos e a matriz apresenta uma perspectiva do ciclo de vida do produto. Através dessas matrizes, é possível identificar qual o componente e fase do ciclo de vida que apresenta as maiores oportunidades ambientais.

Quadro 4 – Matriz MECO (HOCHSCHORNER e FINNVEDEN, 2003)

	Matérias Primas	Manufatura	Uso	Descarte	Transporte
1. Materiais a) Quantidade b) Recursos					
2. Energia a) Primária b) Recursos					
3. Químicos					
4. Outros					

Millet et al. (2007) ressaltam que se corre o risco de tomar decisões erradas com modelos de ACV simplificadas. Isso ocorre porque há dois fluxos importantes nos estudos de ACV: os levemente perigosos gerados em grande quantidade e os muito perigosos gerados em quantidades pequenas. Com abordagens simplificadas, é importante estar ciente que há o risco de não identificar os fluxos perigosos que ocorrem em pequena quantidade e que podem alterar completamente os resultados da ACV. Por isso, em ACV simplificadas, é necessário identificar as áreas que

podem ser omitidas ou simplificadas sem afetar de forma significativa os resultados gerais (HUR et al., 2005).

3.3.2. ACV como ferramenta de *Ecodesign*

Diversas ferramentas foram propostas focando os aspectos ambientais nos estágios iniciais do desenvolvimento de produtos (BAUMANN et al., 2002). Muitas indústrias desenvolveram suas próprias ferramentas ao longo dos anos, variando do geral para o específico, focando partes do ciclo de vida (geralmente o uso e descarte) ou em certos tipos de produtos ou serviços (HAUSCHILD; JESWIET; ALTING, 2005).

O *Ecodesign* possui um conjunto de regras de senso comum que devem ser revisadas nos estágios iniciais de um projeto, que podem ser sumarizadas como (HAUSCHILD; JESWIET; ALTING, 2005):

- 1) Não utilize substâncias tóxicas, mas estabeleça ciclos fechados quando essas substâncias forem necessárias
- 2) Minimize os consumos de energia e recursos na produção, uso, embalagem e transporte
- 3) Promova maior tempo de vida:
 - principalmente em produtos passivos
 - promova manutenção
 - use materiais, superfícies e estruturas melhores
- 4) Considere o fim de vida
 - estruture para reutilizar, reparar e reciclar
 - use menos materiais, materiais mais simples, reciclados e não branqueados
 - monte de forma a facilitar a desmontagem

No entanto, as regras podem apresentar conflitos entre si como por exemplo: redução no peso pode reduzir o tempo de vida; materiais renováveis podem exigir maior energia e a eliminação de materiais tóxicos podem aumentar o consumo de energia (HAUSCHILD; JESWIET; ALTING, 2005).

As propostas restritas apenas a abordagem qualitativa têm encontrado grande dificuldade na aplicação prática, muitas vezes limitando as possibilidades de integração ou promovendo integrações inadequadas (BARRETO, 2007). Keoleian (1993) argumenta que sem uma ferramenta sistemática para avaliar os efeitos ambientais, as chances do desenvolvimento de produto atingir um estado ótimo de qualidade ambiental são reduzidas.

A perspectiva holística aplicada através da Avaliação do Ciclo de Vida permite que a empresa identifique e evite um *trade-off*, que ocorre quando uma solução ambiental acaba criando um novo problema em outra fase do ciclo de vida (HAUSCHILD; JESWIET; ALTING, 2005). Não faz sentido implementar uma melhoria ambiental em uma parte do sistema, em um país, em uma fase do ciclo de vida, se essa “melhoria” apresenta consequências negativas para outras partes do sistema e que podem anular os efeitos positivos (KLÖPFFER, 2003).

Isso torna a ACV uma importante técnica para tomada de decisão em companhias que trabalham para desenvolver atividades sustentáveis (HAUSCHILD; JESWIET; ALTING, 2005; MILLET et al., 2007), uma vez que permite estimar a magnitude dos *trade-offs*, podendo ser considerada a primeira e única técnica de avaliação ambiental normalizada internacionalmente (KLÖPFFER, 2003). Jacquemin et al. (2012) sugerem que a ACV torna-se mais confiável quando utilizada em

conjunto com outras abordagens ambientais, uma vez que essas podem se complementar e compensar as limitações individuais.

Nielsen e Wenzel (2002) propuseram a integração da ACV ao PDP, considerando a natureza iterativa tanto da ACV quanto do processo de desenvolvimento. Na integração proposta pelos autores, a fase “Definição de Objetivo e Escopo” deve ser ajustada ao longo do processo de desenvolvimento, enquanto que as fases “Análise de Inventário”, “Avaliação de Impacto” e “Interpretação do Ciclo de Vida” devem ser revisadas conforme as decisões relacionadas ao novo produto são tomadas. Além disso, os autores sugerem o uso de ACV comparativas e análise de MECO quando decisões rápidas são necessárias.

Bovea e Pérez-Beliz (2012), observando a grande variedade de ferramentas de *Ecodesign*, propuseram uma classificação com o objetivo de facilitar sua integração ao processo de desenvolvimento de produtos. Dentre as ferramentas de que consideram o ciclo de vida dos produtos, os autores sugerem 3 categorias:

- Qualitativas: por exemplo, matriz MET (BREZET; VAN HEMEL, 1997)
- Semi-quantitativa: por exemplo, ACV simplificada (BENNETT; GRAEDEL, 2000)
- Quantitativa: por exemplo, ACV (ISO, 2006)

3.3.3. Limitações do uso da ACV no *Ecodesign*

Apesar das vantagens do uso da ACV no *Ecodesign* serem amplamente reconhecidas, a utilização continua limitada (POUDELET et al., 2012). As restrições de custo e tempo são grandes limitantes para a prática da ACV (BHANDER et al., 2003). Pequenas empresas provavelmente não são capazes de investir em um

especialista em ACV ou pagar um estudo externo. Mesmo em grandes empresas, os benefícios podem não ser imediatos. Para compensar os altos custos, a ACV deve ser integrada no sistema de gerenciamento ambiental existente e nos sistemas de informação da companhia. Os esforços para reduzir o ciclo de desenvolvimento de produto também podem impedir o uso da ACV, pois o menor tempo de desenvolvimento fornece maior flexibilidade e velocidade ao negócio, o que pode representar uma vantagem competitiva (LE POCHAT, 2007).

Apesar dos grandes avanços relacionados à padronização da técnica de ACV, muitos resultados de um mesmo produto podem variar significativamente (BRANDÃO; HEATH; COOPER, 2013; ZUMSTEG; COOPER; NOON, 2013). Essas discrepâncias podem ser atribuídas aos limites de sistemas, diferentes suposições, métodos de alocação, critérios de corte, entre outros (TEEHAN e KANDLIKAR, 2013; ZAMAGNI et al., 2013). Portanto, outra dificuldade é o fato da interpretação da ACV exigir um alto nível de conhecimento de especialista (MILLET et al., 2007). Em alguns casos, a informação primária pode ser interpretada pelo time de desenvolvimento. Em outros, a informação primária deve ser traduzida para se tornar mais útil. Nesse processo, pode-se agregar, desagregar, truncar ou aplicar outros procedimentos de simplificação que podem distorcer o entendimento do sistema. A falta de conhecimento ambiental para os tomadores de decisão do processo de desenvolvimento é crítica (BHANDER et al., 2003).

Millet et al. (2007) argumentam que a ACV não deve ser encarada como uma técnica de desenvolvimento a ser utilizada pelo time multifuncional. Os resultados são muito complexos e estão muito distantes dos parâmetros que o time de desenvolvimento usualmente trabalha. De acordo com os autores, o uso deve estar

limitado ao especialista ambiental e esse deve fornecer os princípios e resultados traduzidos de forma entendível ao time multifuncional.

A falta de dados ambientais suficientes e atualizados também é um grande obstáculo para o uso da ACV, principalmente quando envolve produtos e tecnologias que evoluem rapidamente (OKRASINSKI; MALIAN; ARNOLD, 2012). Além disso, a ACV clássica requer dados e informações que muitas vezes não estão disponíveis ou definidas no início do desenvolvimento (BHANDER et al., 2003). Por isso, a escassez de informações ambientais impede a melhoria ambiental no desenvolvimento do produto (ADRIANKAJA; BERTOLUCI; MILLET, 2013).

Estudos de ACV são extremamente complexos e desafiadores, devido o tamanho do sistema de produto, dos dados exigidos e a diversidade de técnicas de usadas para determinar os efeitos ambientais (BHANDER et al., 2003).

Johansson (2002) identificou que um dos fatores de sucesso para o *Ecodesign* é o apoio da alta gerência. As limitações de uso da ACV no *Ecodesign* confirmam a importância do apoio da alta gerência e da inclusão da questão ambiental dentro da estratégia da empresa.

Para que o *Ecodesign* seja executado, é necessário que a empresa invista em capacitação e recursos (CHARTER; TISCHNER, 2001). Em alguns casos, incluir a questão ambiental no desenvolvimento do produto não apresenta um ganho a curto prazo. Pode-se concluir equivocadamente que há uma desvantagem financeira, pois há um aumento nos custos e no tempo de desenvolvimento, ao investir em recursos humanos e incluir requisitos ambientais no PDP. Por isso, a alta gerência deve criar uma estratégia ambiental que predetermina a maneira que os novos produtos devem ser desenvolvidos buscando a redução dos impactos ambientais e de custos (YEN; YEN, 2012).

4. APLICAÇÃO DA ACV NO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

Este capítulo inicia-se definindo um modelo de referência de PDP. Em seguida, discutiu-se como o *Ecodesign* pode ser executado, focando em como a ACV pode ser aplicada em cada fase do PDP.

4.1. Modelo de PDP adotado

Para atender ao objetivo do estudo, buscou-se um modelo de referência que servisse de guia para todos os projetos de desenvolvimento de produto. A partir dessa referência, pode-se derivar outros modelos, adequados para cada tipo de setor, produto e projeto. Escolheu-se o Modelo Unificado proposto por Rozenfeld et al. (2006) que originou-se da união das metodologias, estudos de caso, modelos, experiências e melhores práticas desenvolvidas e coletadas pelas equipes de pesquisadores coordenadas pelos autores, refletindo o conhecimento e a experiência acumulados.

De acordo com Silva e Rozenfeld (2007), as atividades propostas no Modelo Unificado são baseadas nos trabalhos de Clark e Wheelwright (1993), Eppinger e Ulrich (1995), Prasad (1996) e no modelo proposto pela APQP (*Advanced Product Quality Planning Model*). O modelo é voltado para empresas de manufatura de bens de consumo duráveis e de capital, mas sendo um modelo genérico, pode ser adaptado e aplicado em outros setores, como para empresas de manufatura de bens não duráveis.

O Modelo Unificado incorpora inovações e experiências, sendo bastante abrangente e completo. Adicionalmente aos conteúdos dos modelos mencionados, o

Modelo Unificado inclui a integração com o planejamento estratégico da empresa juntamente com a gestão do portfólio, além da integração dos conceitos de gestão de projetos à fase de planejamento de projeto. O modelo também inclui os ciclos integrados de detalhamento, aquisição e otimização dos produtos na fase de detalhamento, assim como inclui atividades de otimização e validação do processo produtivo e técnicas direcionadas para a ergonomia. Por fim, o modelo propõe uma fase de lançamento de produto integrada aos processos de assistência técnica e vendas. Além disso, inclui a macrofase de pós desenvolvimento, que engloba as atividades de acompanhamento da produção e a descontinuidade do produto no mercado (ROZENFELD et al., 2006).

Essa última macrofase é considerada uma inovação, uma vez que a maioria dos autores considera que o desenvolvimento de produtos se encerra com o lançamento do produto no mercado. Considerar o pós desenvolvimento é fundamental para a perspectiva do ciclo de vida do produto e consequentemente ao *Ecodesign*. Embora o modelo não considere as melhores práticas de *Ecodesign* nas fases, atividades e tarefas, este apresenta a área de meio ambiente como uma das áreas de conhecimento relacionados ao PDP (ROZENFELD et al., 2006). Além disso, como se propõe a ser um modelo genérico, não há nenhuma restrição para a incorporação de práticas de *Ecodesign* ao se adaptar para um modelo mais específico.

Por outro lado, como mencionado anteriormente, a macrofase de pré desenvolvimento do Modelo Unificado é considerada limitada, pois não detalha as atividades para definição de estratégias de produtos e geração de ideias para novos produtos. Considerando a importância que essas atividades representam para a incorporação sistemática do *Ecodesign* e para os ganhos ambientais efetivos, o

modelo proposto por Crawford e Benedetto (2006) será considerado para essas 2 atividades do pré desenvolvimento.

4.2. Aplicação da ACV ao desenvolvimento de produtos

Um grande desafio que o time de desenvolvimento encontra, tanto para tomar decisões individuais como coletivas, é entender como as decisões afetam o produto como um todo. Muitos integrantes do time podem exercer uma grande influência no perfil ambiental. Por exemplo, a seleção de materiais irá afetar os efeitos ambientais associados a cada fase do ciclo de vida, da obtenção da matéria-prima e processamento até o fim de vida. Já o responsável pelo desenvolvimento de processo possui menor influência no sistema como um todo (KEOLEIAN, 1993).

Nielsen e Wenzel (2002) salientam que o desenvolvimento de produtos é um processo criativo e que não deve ser limitado a regras tão rígidas. Quando procedimentos rígidos são propostos, esses devem ser considerados como guias gerais para a modelagem ambiental e para a tomada de decisão durante o processo de desenvolvimento. Uma vez proposto um guia geral, o time de desenvolvimento deve adaptar os princípios para sua própria realidade.

O *Ecodesign* tem o objetivo de incorporar as questões ambientais no PDP, em adição aos demais critérios usualmente considerados nesse processo. Portanto, não se trata de um modelo completamente novo e pode ser encarado como uma variação de um processo de desenvolvimento existente (KARLSSON, LUTTROPP, 2006; LEWIS et al., 2001). Por isso, a proposta de aplicação de ACV no processo de desenvolvimento de produtos é feita de modo a alterar minimamente o Modelo Unificado. A aplicação da ACV em cada fase do PDP será abordado em detalhes nas próximas seções.

4.2.1. Aplicação da ACV no Pré Desenvolvimento

Projetos de desenvolvimento de produtos são iniciados ao reconhecer a necessidade de mudar ou ao descobrir a oportunidade de um novo produto. As oportunidades podem vir de diversas fontes, como universidades, feiras, pesquisas com o consumidor, informações de fornecedores e do mercado, entre outros (COOPER, 1993).

Avaliações ambientais também podem ser uma fonte potencial para identificar novas oportunidades de produtos, sendo que essas podem variar de uma ACV completa ou uma revisão do ciclo de vida, com uma avaliação semiquantitativa dos efeitos ambientais (KEOLEIAN, 1993).

É importante ressaltar que a definição de objetivos e metas ambientais no pré desenvolvimento é fundamental para o sucesso do *Ecodesign* e estes devem estar alinhados à estratégia da empresa (JOHANSSON, 2002). De fato, essa definição é até mais importante que a escolha das ferramentas a serem usadas nas atividades posteriores do *Ecodesign*, uma vez que os objetivos e metas irão influenciar na escolha das ferramentas (KARLSSON; LUTTROPP, 2006). Dessa forma, a definição clara dos objetivos e metas ambientais é fundamental para que o *Ecodesign* seja introduzido com sucesso no PDP (GUELERE, 2009). Uma forma de estabelecer os objetivos e metas ambientais é por meio do perfil ambiental dos produtos existentes ou de concorrentes, obtido através da ACV de um produto de referência, onde é possível identificar os processos e materiais que apresentam maior oportunidade ambiental e em qual etapa do ciclo de vida as oportunidades ocorrem (MILLET et al., 2007).

Tingström, Swanström e Karlsson (2006) argumentam que quando se utiliza ACV nos estágios iniciais, o objetivo é realizar uma avaliação inicial e sem muitos

detalhes, uma vez que não há muitas informações sobre o produto. Conforme o projeto evolui, a ACV pode ser progressivamente melhorada. De acordo com os autores, em muitas vezes a ACV é baseada em uma comparação de um componente ou sistema existente e por isso já possui informações preliminares que podem ser atualizadas de acordo com a evolução do projeto.

Vezzoli e Sciama (2006) sugerem estabelecer diretrizes específicas para cada tipo de produto. Os autores argumentam que as diretrizes não devem ser fixas, devendo evoluir com o tempo e conhecimento adquirido. Além disso, devem inspirar e indicar, da forma mais precisa possível, as decisões e soluções que têm maior potencial para ser sustentável. A especificidade está relacionada com a qualidade das decisões tomadas e da tipologia do produto. Considerando os diversos impactos ambientais, as diretrizes devem ter diferentes pesos, estabelecendo prioridades baseado na tipologia de produto.

A seguir, a aplicação da ACV é proposta em cada fase do pré desenvolvimento.

Identificação e seleção de oportunidades para produtos

Essa fase é o momento em que a empresa deve definir a estratégia para desenvolver produtos ecoeficientes. Tingström e Karlsson (2006) afirmam que há duas maneiras de promover a melhora ambiental dos novos produtos: 1) desenvolvendo “eco-produtos” específicos, com menor carga ambiental quando comparado aos produtos “convencionais” existentes ou 2) incorporando as questões ambientais no PDP de todos os produtos ao integrar critérios e métodos ambientais mandatórios no processo. Os autores argumentam que a primeira opção tende a resultar em grandes melhorias ambientais, mas com abrangência limitada, uma vez

que apenas uma pequena parcela dos produtos de uma empresa apresentariam a melhora. Por outro lado, os autores afirmam que a segunda opção seria uma boa maneira de gerar melhorias em todos os novos produtos de uma empresa.

Guelere (2009) observa que, embora Tingström e Karlsson (2006) apresentam as alternativas como excludentes, pode-se trabalhar estas abordagens como complementares. O autor pontua que uma empresa pode iniciar a estratégia de *Ecodesign* focando apenas em um produto ou linha de produtos e posteriormente expandir os critérios ambientais para todo PDP. Independentemente da estratégia adotada, a empresa deve entender quais são as maiores oportunidades, do ponto de vista ambiental.

Idealmente, a ACV de todos os produtos existentes no portfólio da empresa deveria ser realizada, com o intuito de identificar os *hot spots* de cada produto e também quais os produtos que apresentam maior oportunidade ambiental (CHARTER; TISCHNER, 2001). Muitas vezes isso não é viável por restrições de custo e tempo. Por isso deve-se buscar priorizar quais produtos devem ser analisados através da ACV. Sugere-se agrupar os produtos em categorias e escolher um representante de cada categoria. De acordo com Vezzoli e Sciamia (2006), para escolher o produto a ser avaliado, deve-se considerar o modelo que representa as tendências tecnológicas e de mercado, ou seja, o modelo que tem maior expectativa de permanecer no mercado, e não necessariamente o mais vendido. Como resultado dessa avaliação, pode-se identificar quais as maiores oportunidades ambientais e estabelecer diretrizes para os produtos a serem desenvolvidos dentro de cada categoria de produto.

De acordo com Charter e Tischner (2001), a identificação de oportunidades de negócio relacionados às questões estratégicas podem vir de ferramentas como

Análise de Tendências Ambientais e SWOT verde (análise das fortalezas, fraquezas, oportunidades e ameaças). As ideias de produtos podem vir de diversas fontes, como ideias do passado, produtos concorrentes, pesquisa de mercado e diversas técnicas de criatividade.

Geração de conceitos de produtos:

Nessa fase as ideias e os conceitos de produtos são desenvolvidos. De acordo com Crawford e Benedetto (2006), um time deve ser estabelecido para a geração e avaliação das ideias. Na atividade de identificação do problema, deve-se realizar uma análise detalhada dos mercados, por meio de métodos de análise de problemas ou cenários. Nessa atividade, pode-se incluir as informações geradas pelas ACV na fase anterior, traduzidas nas oportunidades ambientais. Pode-se inclusive organizar um sessão destinada exclusivamente para gerar ideias com foco ambiental, dependendo do direcionamento estratégico definido anteriormente.

Uma vez identificado o problema, pode-se desenvolver ideias e conceitos de produtos que foquem nessas oportunidades, incluindo as questões ambientais. Mesmo que as novas ideias e conceitos não foquem diretamente a questão ambiental, é importante manter o time ciente dos *hot spots*, para que as soluções geradas levem em consideração se podem causar uma piora no perfil ambiental do novo produto.

Além disso, nessa fase as ideias e os conceitos provenientes de outras fontes internas ou externas da organização são reunidas. Pode-se buscar novas tecnologias e sistemas disponíveis para melhorar o desempenho ambiental do produto. As oportunidades podem vir de fontes variadas, como parceiros, feiras, informações de fornecedores e do mercado, universidades, entre outros.

Planejamento Estratégico de Produtos

Nessa fase ocorre o gerenciamento do portfólio de produtos, que deve estar alinhada ao plano estratégico da empresa. Essa atividade é executada pelo Time de Planejamento Estratégico de Produtos, formada por membros da diretoria e gerentes funcionais. Esse time decide quais produtos serão retirados do mercado e em quais projetos de novos produtos serão investidos (ROZENFELD et al., 2006).

De acordo com Rozenfeld et al. (2006), a formação desse time é um avanço em relação aos modelos anteriores, onde essa decisão cabia apenas ao departamento de *marketing* ou de engenharia, correndo-se o risco de tomar decisões erradas por falta de visão holística. Do ponto de vista ambiental, é importante ter a presença de um especialista ambiental nesse time, conforme Johansson (2002) apontou como um dos fatores de sucesso para o *Ecodesign*. Esse profissional deve ser capaz de correlacionar as informações obtidas das ACV anteriores aos impactos que os produtos podem causar, de forma a influenciar nas decisões sobre o portfólio.

Conforme discutido anteriormente, é fundamental incluir as questões ambientais no início do desenvolvimento para aumentar a probabilidade de melhoras ambientais efetivas e relevantes, independentemente do tipo de projeto. A informação prévia de ACV é de extrema importância no direcionamento correto da tomada de decisão, ao evidenciar os componentes e fases do ciclo de vida com maiores oportunidades ambientais. A partir dessa informação, pode-se definir objetivos e metas ambientais para os produtos a serem desenvolvidos.

O Modelo Unificado ressalta que um aspecto fundamental a ser considerado na gestão do portfólio é a vantagem competitiva que uma empresa deve obter através do diferencial dos seus produtos. O fator de diferenciação está relacionado à

percepção que o usuário tem de que determinado produto apresenta as melhores características que mais valoriza. Cada produto deve ter uma diferenciação para atender um conjunto específico de clientes, sem haver sobreposições (ROZENFELD et al., 2006).

Nesse sentido, o *Ecodesign* apresenta-se como uma forma de diferenciação, considerando o contexto atual. Karlsson e Luttrupp (2006), observaram que para alguns consumidores, o desempenho ambiental do produto é um fator importante na decisão de compra, enquanto que outros acreditam que produtos “verdes” são mais caros. Para uma grande maioria de consumidores, o desempenho ambiental é um fator com prioridade baixa na decisão de compra, o que representa um grande desafio para as empresas que buscam praticar *Ecodesign*. No entanto, ser sustentável está se tornando sinônimo de ser inteligente, ao combater todo tipo de desperdício. Dessa forma, o *Ecodesign* pode ter um papel estratégico, ao disseminar essa imagem e buscar desenvolver produtos que contribuam com o consumo e produção sustentáveis.

O resultado final dessa fase consiste no portfólio de produtos e nas minutas de projetos. Nesse momento, espera-se que o portfólio e as minutas de projetos atendam aos objetivos e metas ambientais estabelecidos no plano estratégico da empresa (ROZENFELD et al., 2006). Dessa forma, a aplicação da ACV deve garantir que as questões ambientais sejam incorporadas nos objetivos e metas dos projetos, que direcionarão as próximas etapas do PDP.

Planejamento do Projeto

Nessa fase, o planejamento dará apoio à materialização dos objetivos e metas do projeto, incluindo os ambientais. Os esforços dessa fase focam em

identificar todas as atividades, recursos e a melhor maneira de integração de modo que o projeto seja conduzido com o mínimo de erro possível (ROZENFELD et al., 2006). Guelere (2009) ressalta que, caso a empresa não tenha estabelecido anteriormente objetivos e metas claros em relação ao *Ecodesign* nas minutas de projetos, o planejamento do projeto não irá considerar as questões ambientais no plano de projeto e nas fases subsequentes.

A primeira atividade dessa fase envolve a definição dos interessados no projeto. O Modelo Unificado aponta que esse planejamento já deve prever o envolvimento tanto dos profissionais internos da organização, como também colaboradores externos, como fornecedores e outros parceiros estratégicos (ROZENFELD et al., 2006). Quanto aos profissionais internos, pode-se incluir a participação do especialista ambiental na composição do time de projeto, caso esse não tenha sido incluído na fase anterior. De acordo com Millet et al. (2007), o especialista ambiental é capaz de fornecer os princípios e resultados traduzidos de forma entendível ao time multifuncional. Vale ressaltar que todo o time deve estar envolvido na questão ambiental e não apenas o especialista ambiental, que tem o papel apenas de facilitar a tomada de decisão.

Em relação aos fornecedores externos, cada parceiro é envolvido com um diferente grau de responsabilidade no PDP, que acaba por influenciar o momento em que cada parceiro deve iniciar a interação com o time de projeto. Quanto maior interação, mais cedo deve ser envolvido no projeto. Os parceiros com grande interação (por exemplo, parceiros de risco) já devem ser identificados nessa fase, assim como deve-se estabelecer claramente no escopo do projeto quais serão as responsabilidades e qual o nível de dedicação (ROZENFELD et al., 2006). Se na análise da ACV das fases anteriores for evidenciado um *hot spot* em algum

fornecedor, esse deve ser identificado como um potencial parceiro para melhorar o perfil ambiental do novo produto. Conforme observado por Johansson (2002), o estabelecimento de um relacionamento estreito com o fornecedor é um dos fatores de sucesso para o *Ecodesign*.

Segue-se para as atividades de definição do escopo de produto, do projeto e detalhamento do escopo do projeto (ROZENFELD et al., 2006). A partir desses resultados, a classificação baseada na tipologia de projetos torna-se relevante, pois é nesse momento que ocorre a identificação das atividades e recursos necessários para atingir os objetivos finais, bem como definição do cronograma e fases do PDP a serem executadas no projeto. Classificar incorretamente um projeto por levar ao desperdício de recursos ou, em um outro extremo, à condenação de um projeto por falta de recursos.

No Modelo Unificado proposto por Rozenfeld et al. (2006), a classificação do projeto é feita considerando o grau de complexidade e o grau de inovação, utilizando as informações das declarações de escopo. Dessa forma, os projetos podem ser classificados como incremental, de plataforma, radical ou de pesquisa avançada. Para as próximas fases do PDP, quando adequado, será discutido qual o tipo de ACV pode ser utilizado para cada tipo de projeto, conforme a tipologia proposta no Modelo Unificado.

De modo paralelo, alguns autores afirmam que projetos de *Ecodesign* também podem ser praticados em diversos níveis. Stevels (1999) apresenta a seguinte classificação:

- 1) Melhoria ambiental incremental em produtos existentes. Exemplo: um monitor com melhorias ambientais comparado ao modelo anterior

2) Redesenho radical baseado em conceitos existentes. Exemplo: um monitor com a mesma tecnologia do modelo anterior, mas com características ambientais melhoradas até o extremo que a física, química e eletrônica permitem.

3a) Inovação na função, que é atendida de maneira alternativa (criação de novos conceitos). Exemplo: aplicação de um novo princípio físico, como um monitor de LCD como nova geração.

3b) Inovação do sistema, onde a funcionalidade é concebida para se adequar a uma sociedade sustentável. Exemplo: entregar imagens aos usuários através de vídeos baseado em um sistema de demanda.

O autor afirma que quanto maior o nível de inovação através do *Ecodesign*, os ganhos ambientais são maiores, mas os riscos também aumentam. O consumidor deverá adaptar o estilo de vida para se beneficiar dos ganhos ambientais com maior inovação e a sociedade deverá reestruturar a infraestrutura e instituições para permitir grandes ganhos ambientais. Stevels (1999) conclui que o sucesso do *Ecodesign* não depende apenas das questões técnicas, mas de projetos estratégicos dispostos a mudar o modelo de negócio de uma empresa.

De maneira bastante similar, Charter e Tischner (2001) identificaram 4 estágios do *Ecodesign*: reparo, refino, redesenho e mudança de pensamento. Os autores afirmam que os estágios não são excludentes e podem existir em paralelo. Em um primeiro momento a ênfase é no “fim-de-tubo” e modificações de reparo dos produtos existentes. A abordagem do refino ocorre quando há movimentos para aumentar a ecoeficiência dos produtos existentes. O movimento seguinte é o redesenho dos produtos, especialmente através de novas tecnologias e materiais.

Por fim, a mais radical das abordagens é através da mudança de pensamento, que envolve novos meios de viver e realizar as atividades, assim como novos padrões de consumo.

Observa-se que a classificação de projetos de *Ecodesign* proposta pelos autores é bastante similar entre si, assim como é similar à classificação tipológica proposta por Rozenfeld et al. (2006). Isso reforça a ideia de que a classificação dos projetos de *Ecodesign* é válida como forma de gerenciar os projetos de forma mais racional e aumentar a probabilidade de sucesso.

De um modo geral, em um projeto com alta complexidade e inovação, todas as fases do desenvolvimento devem ser executadas plenamente. Conforme for diminuindo a complexidade de um projeto, pode-se agrupar as fases de projeto informacional e conceitual, além de simplificar as fases de projeto detalhado e preparação da produção (ROZENFELD et al., 2006).

O Quadro 5 apresenta um resumo com as principais propostas de aplicação da ACV no Pré desenvolvimento de produtos.

Quadro 5 - Resumo da proposta de aplicação da ACV no Pré Desenvolvimento de Produtos

Pré desenvolvimento			
Identificação e seleção de oportunidades para produtos*	Geração de conceitos de produtos*	Planejamento estratégico de produtos	Planejamento do projeto
<ul style="list-style-type: none"> - Pode-se estabelecer os objetivos e metas ambientais através do perfil ambiental de produtos existentes ou de concorrentes, identificando os processos e materiais que apresentam maior oportunidade ambiental e em qual etapa do ciclo de vida há oportunidades (MILLET et al., 2007). - Agrupar produtos em categorias e realizar ACV de um representante de cada categoria, para identificação dos hot spots de cada tipo de produto (VEZZOLLI; SCIAMA, 2006) 	<ul style="list-style-type: none"> - Incluir sessão destinada na geração de ideias focadas nas questões ambientais, baseadas nas informações levantadas na fase anterior - Manter o time ciente dos hot spot, mesmo nas ideias que não consideram diretamente a questão ambiental - Buscar fontes internas e externas que focam na questão ambiental 	<ul style="list-style-type: none"> - Incluir no Time de Planejamento Estratégico de Produtos um especialista ambiental, capaz de traduzir as informações das ACV geradas nas fases anteriores em critérios para avaliação dos projetos (JOHANSSON, 2002) - Utilizar a questão ambiental como forma de diferenciação de um produto (KARLSSON; LUTTROPP, 2006) 	<ul style="list-style-type: none"> - Definir os interessados no projeto, tanto internos (incluindo especialista ambiental) (MILLET, 2007), quanto externo (por exemplo, um parceiro de risco como potencial parceiro para a melhora ambiental do produto) (JOHANSSON, 2002) - Definir o escopo do produto, projeto e tipo de projeto (CHARTER; TISCHNER, 2001; STEVELS, 1999)

*baseado no modelo de referência de Crawford e Benedetto (2006)

4.2.2. Aplicação da ACV no Projeto Informacional

No projeto informacional ocorre o estabelecimento de especificações-meta do produto, que geralmente é considerado como elemento mais crítico do desenvolvimento de um novo produto (ROZENFELD et al., 2006). Essas especificações orientam a geração de soluções e fornecem a base sobre a qual serão montados os critérios de avaliação e de tomada de decisão utilizados nas etapas posteriores do PDP. Assim, é fundamental que as especificações-meta considerem as questões ambientais para que o *Ecodesign* seja efetivo. Keoleian (1993) afirma que efeitos ambientais adversos podem ser reduzidos ou até

eliminados através de requisitos do projeto que focam em soluções de desenho direcionados a melhorias ambientais.

De acordo com o Modelo Unificado, nessa fase deve-se definir o problema do projeto, buscando entendê-lo de forma clara e completa. Isso deve ser feito aprofundando as informações obtidas na fase de planejamento e buscando informações sobre aspectos tecnológicos e de produtos concorrentes. Deve-se aproveitar a maior parte das informações já levantadas na fase de planejamento estratégico, para todo portfólio dos produtos (ROZENFELD et al., 2006). Isso vale também para as informações já levantadas pelas ACV nas fases anteriores. Novas pesquisas devem ser feitas apenas quando for necessário complementar ou aprofundar alguma informação crítica. No caso de produtos reprojetados (projetos incrementais), as informações deverão focar nos produtos existentes e em produtos concorrentes, podendo incluir as informações do perfil ambiental destes.

Após definir o problema, o primeiro passo em busca de novas informações é o mapeamento do ciclo de vida do produto. Cada produto possui um ciclo de vida próprio e deve-se definir as fases do ciclo baseado no conhecimento de produtos existentes ou de produtos que o antecederam (ROZENFELD et al., 2006). É importante ressaltar que o enfoque do termo “ciclo de vida” mencionado no Modelo Unificado é um pouco diferente do enfoque utilizado na ACV. No Modelo Unificado, o ciclo de vida inicia-se pelos primeiros esforços para se criar um produto, passando pelo lançamento, comercialização, descontinuação e estendendo-se até o encerramento no pós venda do produto. A Figura 8 mostra um modelo bastante utilizado que ilustra a evolução financeira do projeto e produto nos diferentes ciclos de vida.

Figura 8 - Ciclo de vida segundo a evolução das vendas do produto (ROZENFELD et al., 2006)

Já o ciclo de vida da ACV foca no fluxo de materiais e incorpora a possibilidade de reutilização, remanufatura e reciclagem. Devido a complexidade de levantar todos os fluxos de materiais que ocorrem entre a tecnosfera e a ecosfera durante toda vida de um produto (desde o início do desenvolvimento até o fim do pós venda), a ACV prevê o estabelecimento de fronteiras no sistema a ser estudado, com o objetivo de priorizar as fases mais críticas do ponto de vista ambiental. Por isso, muitas vezes a ACV foca no sistema de produto durante a fase de comercialização, ilustrado de forma genérica na Figura 9, onde o círculo com T representa o processo transporte que liga fisicamente os demais processos.

Figura 9 - Sistema de produto ou Ciclo de vida do produto (HAUSCHILD; JESWIET; ALTING, 2005)

No Modelo Unificado, o objetivo de mapear o ciclo de vida é definir os clientes de cada fase do ciclo, para então definir os requisitos dos clientes (ROZENFELD et al., 2006). A ACV serve como um complemento nesse mapeamento, ao incorporar as questões ambientais, que posteriormente passarão a se tornar requisitos de produto.

Nessa fase, a aplicação da ACV pode se diferenciar para cada tipo de projeto. Hur et al. (2005) observaram que as formas mais simplificadas de ACV, como por exemplo as formas matriciais e qualitativas, são mais adequadas para projetos incrementais, com poucas mudanças em relação ao produto existente. Considerando que a maioria dos projetos em uma empresa são incrementais, a proposta de utilizar uma forma bastante simplificada de ACV nesse tipo de projeto é uma alternativa bastante viável.

Uma grande barreira para a aplicação da ACV é a grande demanda de tempo e esforço que essa técnica requer (ANDRIANKAJA; BERTOLUCI; MILLET, 2013; BHANDER et al., 2003; KEOLEIAN, 1993). A possibilidade de utilizar formas bastante simplificadas de ACV nos projetos incrementais, que representa a maior parte dos projetos, aumenta a probabilidade de aplicação efetiva no

desenvolvimento de produtos. As matrizes MET e MECO são exemplos dessa forma mais simplificada de ACV e estão detalhadas na sessão 3.2.2.

Hur et al. (2005) também concluíram que as formas mais completas da ACV são mais adequadas para projetos mais complexos e inovadores, uma vez que gera mais informações sobre o desempenho ambiental do produto. Isso indica que conforme a complexidade de um projeto aumenta, a forma completa de ACV tende a apresentar-se mais adequada.

Baseado nisso, para projetos de plataforma pode-se sugerir uma ACV simplificada semi quantitativa, sendo intermediária entre a forma qualitativa e quantitativa. Para construir a ACV simplificada, pode-se utilizar os exemplos de Andriankaja, Bertoluci e Millet (2013) e Okrasinski, Malian e Arnold (2012) que criaram uma ferramenta que estima de forma rápida o perfil ambiental de um produto baseado na tipologia do produto. Os pesquisadores classificaram os produtos em diferentes categorias, baseado nos perfis ambientais. Assim, o perfil ambiental de um novo produto é feito baseado apenas nos parâmetros críticos do produto, focando nos aspectos do ciclo de vida identificados como relevantes. Uma vez que nesse tipo de projeto o produto não é totalmente novo, muitas informações já estarão disponíveis e portanto o esforço pode ser reduzido significativamente. Andriankaja, Bertoluci e Millet (2013) ressaltam que esse tipo de ferramenta simplificada não é adequada para projetos radicais e de novas tecnologias, uma vez que nesses casos uma base de dados precisa ser criada ou atualizada.

Uma outra opção, sugerida por Nielsen e Wenzel (2002), seria definir um produto de referência e realizar a ACV, para servir de base para o novo produto. Um produto existente pertencente a mesma plataforma pode servir como referência, se o novo produto for apenas uma modificação da referência. Nesse caso, é necessário

realizar uma análise crítica se as alterações do novo produto em relação à referência podem causar uma alteração significativa no perfil ambiental do novo produto. Keoleian (1993) afirma que a ACV de um produto existente pode ser usado para especificar os requisitos no desenvolvimento de um novo produto, uma vez que os efeitos ambientais identificados no produto existente podem ser usados para estabelecer as restrições ambientais do novo produto.

Os projetos radicais acontecem em uma frequência menor e naturalmente já consomem mais tempo e recursos. Nesses projetos pode-se realizar uma ACV quantitativa completa, sendo necessário ter conhecimento dos materiais e processos específicos. Para produtos completamente novos, Nielsen e Wenzel (2002) sugerem estabelecer um produto fictício para servir de referência. Geralmente, os novos produtos são baseados em tecnologias existentes, variando a configuração. Por isso, na maioria dos casos, é possível compor uma referência útil, combinando sistemas e tecnologias existentes.

Já os projetos de pesquisa avançada têm o objetivo de criar conhecimento para projetos futuros e portanto não tratam do desenvolvimento de um produto específico (ROZENFELD et al., 2006). O foco desse tipo de projeto é o desenvolvimento de uma tecnologia e muitas vezes não há informações suficientes para realizar uma ACV quantitativa completa nessa fase do projeto. Mas essa limitação não deve excluir a possibilidade de incorporar as questões ambientais nessa situação, pois as maiores possibilidades de ganhos ambientais encontram-se justamente nas fases iniciais do projeto de pesquisa avançada.

De fato, o que se observa é que muitas pesquisas avançadas são impulsionadas focando numa questão ambiental, como por exemplo o desenvolvimento de combustíveis e polímeros de fontes renováveis, assim como

tecnologias que exigem menor consumo de energia durante o uso. Nesses casos, provavelmente uma ACV foi conduzida nas fases anteriores, onde detectou-se o *hot spot* que a pesquisa avançada está focando. Caso isso não tenha ocorrido, uma simples ACV qualitativa é suficiente para nortear o início do desenvolvimento da nova tecnologia. Nos projetos de pesquisa avançada, a ACV quantitativa completa poderá ser executada em uma fase posterior, quando as informações da nova tecnologia forem definidas.

Além disso, Pigosso, Rozenfeld e McAloone (2013) ressaltam que a complexidade das ferramentas de *Ecodesign* utilizadas podem variar de acordo com o grau de maturidade da empresa quanto à incorporação do *Ecodesign*. Por exemplo, uma ACV quantitativa completa pode ser utilizada por empresas maduras enquanto que uma ACV simplificada, como os modelos matriciais, são mais adequados para organizações menos maduras. Portanto, deve-se considerar o grau de maturidade da empresa e o tipo de projeto para a escolha adequada da ferramenta a ser utilizada.

Uma vez mapeado o ciclo de vida do produto e identificado os clientes em cada fase do ciclo, é necessário identificar os requisitos do cliente, que podem ser relacionados a desempenho funcional, fatores humanos, propriedades, espaço, confiabilidade, ciclo de vida, recursos e manufatura (ROZENFELD et al., 2006).

O Modelo Unificado resalta que é extremamente importante identificar os requisitos ambientais, considerando no projeto o impacto do produto durante a produção, uso e descarte (ROZENFELD et al., 2006). Se, por exemplo, for identificado um *hot spot* no fim de vida do produto, deve-se considerar um requisito relacionado ao plano de fim de vida. Além disso, é importante incluir no mapeamento o impacto ambiental que a embalagem pode apresentar. Se for identificado uma

contribuição significativa da embalagem, deve-se considerar um desenvolvimento antecipado da embalagem, incluindo as questões ambientais.

Muitas vezes os requisitos do cliente devem ser traduzidos em características técnicas, possíveis de serem mensuradas. Isso ocorre porque frequentemente esses requisitos são subjetivos, como por exemplo: “o equipamento deve ser leve” (ROZENFELD et al., 2006). Quanto aos requisitos ambientais, os resultados de uma ACV geralmente são muito complexos. Nesse momento, a atuação do especialista ambiental, cujo recurso deve ser previsto na fase anterior, é fundamental para traduzir os requisitos de forma entendível ao time multifuncional. O produto final dessa tradução são os requisitos do produto.

Por fim, é necessário traduzir os requisitos do produto em especificações-meta, compostas pelos requisitos de produto associados a parâmetros quantitativos e mensuráveis. Existem diversas técnicas para auxiliar a obtenção das especificações-meta, sendo o QFD (*Quality Function Deployment*) uma das mais conhecidas (ROZENFELD et al., 2006). Como forma de incorporar a questão ambiental no QFD, Masui, Sakao e Inaba (2001) propuseram o QFDE (*Quality Function Deployment for Environment*). Essa técnica traduz as necessidades e desejos do cliente e as necessidades de qualidade ambiental em requisitos de projetos. As informações geradas pelas ACV nas fases anteriores poderiam ser utilizadas para completar o QFDE.

De acordo com Deutz et al. (2013), se os requisitos ambientais não são especificados explicitamente, as chances de atingir metas ambientais são reduzidas. Além disso, ao definir a questão ambiental como um requisito funcional, estende-se a definição ordinária de “função de produto”, deixando de focar apenas na operação durante o uso para englobar o ciclo de vida como um todo.

É importante ressaltar que, além dos objetivos ambientais, deve-se atender a outros requisitos, como desempenho, custos, estética e requisitos regulatórios (STEVELS, 1999). O peso dado para o desempenho ambiental de um produto não deve ser maior que o requisito que garante maior competitividade do produto (HAUSCHILD; JESWIET; ALTING, 2005). Se um novo produto for desenvolvido considerando apenas as questões ambientais e esse perde em vendas para um produto desenvolvido sem nenhuma preocupação ambiental, não há nenhum ganho ambiental (NIELSEN e WENZEL, 2002).

O que se observa, no entanto, é que melhorias ambientais podem ser facilmente obtidas sem comprometer outros parâmetros importantes do produto. Além disso, o trabalho de otimização do desempenho ambiental muitas vezes leva à criatividade e traz soluções inovadoras para dentro do processo de desenvolvimento de produtos (ALTING; HAUSCHILD; WENZEL, 1997; CHARTER; TISCHER, 2001).

O sucesso das soluções de desenho depende do balanço entre os pesos atribuídos às diversas especificações-meta estabelecidas. Além disso, o sistema de gerenciamento ambiental de uma companhia deve incluir acompanhamento do desempenho ambiental medida para monitorar o progresso e fornecer o incentivo e reconhecimento necessários para indivíduos e grupos responsáveis pela melhoria (KEOLEIAN, 1993).

4.2.3. Aplicação da ACV no Projeto Conceitual

No Projeto Conceitual ocorrem as atividades para a busca, criação, representação e seleção de soluções para o problema do projeto. Após atualizar o plano do projeto conceitual, o novo produto deve ser modelado funcionalmente, sendo descrito de forma bastante abstrata e independente de princípios físicos. O

objetivo é evitar que experiências e preconceitos formem uma barreira contra soluções novas (ROZENFELD et al., 2006).

O modelamento funcional parte da análise das especificações-meta do produto e das funções inicialmente identificadas para estabelecer a função global do produto. Uma vez que as informações geradas nas ACV nas fases anteriores foram consideradas para o estabelecimento das especificações-meta, as questões ambientais estarão incorporadas nessa atividade. Essa função global é então decomposta em uma estrutura de funções com menor complexidade, de modo que quando todas são executadas, a função global do produto é realizada. Essa decomposição é realizada pois é mais fácil encontrar a solução para diversas funções de baixa complexidade interligadas em uma estrutura de funções do que uma solução para a função total. É possível estabelecer diferentes estruturas funcionais que satisfazem a função global, para depois selecionar a melhor alternativa (ROZENFELD et al., 2006).

A próxima atividade é o desenvolvimento dos princípios de solução para as funções. Um ou mais princípios de solução são atribuídos a cada função da estrutura funcional estabelecida na atividade anterior, sendo que há diversas maneiras de obter os princípios de solução, como banco de dados, catálogos e métodos de criatividade (ROZENFELD et al., 2006). Nielsen e Wenzel (2002) sugerem avaliar oportunidades de melhora ambiental após identificar os *hot spots*, para gerar alternativas de soluções conceituais baseadas nessas informações. Essas alternativas devem ser comparadas do ponto de vista ambiental. Para assegurar que todos os estágios do ciclo de vida, todas as emissões e consumos foram considerados, o princípio do MECO pode ser aplicado.

Em seguida, o princípio de solução total do produto é formado através da combinação dos princípios de solução individuais e então define-se a arquitetura, que contém a estrutura do produto em termos de componentes e conexões (ROZENFELD et al., 2006).

Uma vez definida a arquitetura, as alternativas de solução são desdobradas em Sistemas, Subsistemas e Componentes (SSC) que deverão atender às funções do produto. Os SSC são então analisados, gerando a primeira versão do *Bill of Materials* (BOM) para a concepção do produto. O Modelo Unificado ressalta a importância dessa etapa, pois as decisões tomadas nesse momento apresentam maior efeito nos custos, desempenho, funcionalidade e perfil ambiental de um produto pelo menor investimento (ROZENFELD et al., 2006).

Portanto, para auxiliar os projetistas a analisar os SSC, diversas ferramentas foram desenvolvidas, denominadas genericamente como DfX (*Design for X*, Projeto para X), onde o “X” representa qualquer uma dos diversos aspectos a serem considerados ao longo do ciclo de vida do produto, como por exemplo: custo, qualidade, manufatura e meio ambiente. Assim, o DfX pode ser considerado uma base de conhecimento que tem o objetivo projetar produtos que maximizem as características necessárias de um produto, como por exemplo qualidade, confiabilidade, serviço, segurança e meio ambiente; ao mesmo tempo que minimiza os custos de manufatura e do ciclo de vida do produto (ROZENFELD et al., 2006).

O Modelo Unificado menciona o DfE (*Design for Environment*), cujo propósito é minimizar o impacto ambiental do produto e do processo produtivo, porém não detalha sobre o assunto. Vale lembrar que o termo DfE (ou *Ecodesign*) considerado no presente trabalho amplia a perspectiva adotada no Modelo Unificado, ao

incorporar as questões ambientais desde o início do desenvolvimento do produto, na macrofase de pré desenvolvimento.

Considerando o objetivo do DfE abordado no Modelo Unificado, as ferramentas de maior aplicação e eficiência são catálogos de exemplos, com princípios e diretrizes, assim como *checklists* (CLARK; CHARTER, 1999 e FIKSEL, 1996; ERNZER et al., 2003), matrizes qualitativas (ALLENBY, 1992) e modelos de ACV simplificados, baseados em informações qualitativas e semiquantitativas (GRAEDEL; ALLENBY, 1995; MUELLER; BESANT, 1999 e SETAC, 1999).

Geralmente essas ferramentas são específicas para um tipo de produto. Portanto é importante escolher as ferramentas adequadas cada o tipo de produto em desenvolvimento. Considerando isso, Sousa e Wallace (2006) propõem um sistema automatizado de classificação ambiental dos produtos. Os autores sugerem utilizar características gerais tipicamente conhecidas na fase de projeto conceitual e dados ambientais de ACV existentes. Com esses dados, é possível obter um desempenho ambiental aproximado para um novo conceito de produtos. Ou seja, através de informações fornecidas no projeto conceitual, faz-se uma classificação do produto proposto e obtém-se o perfil ambiental desse conceito. Esse perfil é útil para ajudar o time de desenvolvimento a avaliar qual o melhor conceito.

Uma vez analisados os SSC, deve-se definir a ergonomia e estética do produto. A ergonomia está relacionada à interface entre as pessoas e o produto, sendo que os fatores humanos devem ser considerados para todas as pessoas que podem entrar em contato com o produto, desde a etapa da manufatura, passando pelas etapas de operação/uso, manutenção, reparo e descarte. A estética é fundamental para os produtos, pois atrai o consumidor para a compra, despertando o desejo da aquisição. Para a definição de ambos os aspectos, se as questões

ambientais estiverem incorporadas nas especificações-meta, essas atividades também devem ocorrer alinhadas aos objetivos e metas ambientais do produto (ROZENFELD et al., 2006).

O mesmo deve acontecer na atividade de definir fornecedores e parcerias de co-desenvolvimento. Nessa atividade, o Modelo Unificado apresenta questões ambientais que podem ser usadas como critério para a definição de parceiros (ROZENFELD et al., 2006). Uma atenção maior deve ser dada, caso algum processo do fornecedor seja identificado como *hot spot*.

Uma vez que as concepções foram geradas nas atividades anteriores, a próxima atividade é a seleção da concepção do produto, que será transformado no produto final. A principal dificuldade é justamente a falta de informações técnicas detalhadas nesse momento, uma vez que essas ainda estão limitadas e abstratas. Por isso é necessário utilizar métodos ou procedimentos sistemáticos que sejam compatíveis com a limitação de informações, mas que orientem a tomada de decisão sobre a melhor concepção do produto (ROZENFELD et al., 2006).

O Método de Pugh ou Método da Matriz de Decisão é uma das maneiras mais comuns utilizadas para essa avaliação (ROZENFELD et al., 2006), que consiste em uma matriz onde relaciona-se as concepções alternativas e os critérios de avaliação, que podem ser algumas ou todas as especificações-meta, podendo acrescentar outros critérios. Por isso, pode-se incluir metas ambientais, caso as especificações-meta não incorporem os critérios necessários para atender aos objetivos ambientais do produto. Hauschild, Jeswiet e Alting (2004) afirmam que considerações qualitativas podem ser úteis para exclusões rápidas de alternativas conceituais, enquanto que a ACV completa deve ser realizada no conceito selecionado. Uma vez definida a concepção do produto, é necessário definir o plano macro do processo

produtivo, cujo principal objetivo é identificar possíveis processos de fabricação dos SSC (ROZENFELD et al., 2006).

De modo geral, as atividades descritas nessa fase são executadas em sua plenitude apenas em projetos radicais e de pesquisa avançada, sendo que nos projetos de pesquisa avançada o foco é na nova tecnologia e não na aplicação em um produto específico. Em projetos que apresentam menor grau de mudança (incremental e de plataforma), a maior parte do produto já está concebido. Nesses casos, as atividades se aplicam apenas para as novas funções, ou funções a serem alteradas, não sendo necessário decompor a função global, mas apenas adicionar ou alterar a nova função. Da mesma forma, não é necessário definir a arquitetura, mas avaliar a interface da nova função com o restante do produto (ROZENFELD et al., 2006). Nas atividades de analisar SSC, definir parcerias de co-desenvolvimento, definir ergonomia e definir plano macro de processo, elas devem focar apenas as alterações, simplificando bastante as tarefas e conseqüentemente as atividades relacionadas à ACV. Nesses tipos de projeto, pode-se utilizar a ACV na forma qualitativa ou semi quantitativa para selecionar e avaliar a concepção final do produto.

4.2.4. Aplicação da ACV no Projeto Detalhado

O projeto detalhado dá continuidade ao projeto conceitual e tem o objetivo de desenvolver e finalizar as especificações do produto. Do ponto de vista ambiental, nesse estágio cerca de 80 a 90% das características do produto já estão “congeladas” sem a possibilidade de modificações. Isso quer dizer que o resultado da ACV pode influenciar somente cerca de 10 a 20% do produto, através de modificações superficiais (MILLET et al., 2007).

Na fase anterior, os desdobramentos ocorrem sucessivamente no sentido *top down*, ou seja, dos sistemas em subsistemas e posteriormente em componentes, que são associados aos processos de fabricação e documentados no plano de processo macro. Já no projeto detalhado, ocorre o processo *bottom up*, onde há integração sucessiva dos componentes, subsistemas e sistemas, chegando ao produto final. A concepção é finalizada com outros detalhamentos, resultando um produto integrado, contendo as tolerâncias dos parâmetros e especificações críticas de forma a atender aos requisitos dos clientes e especificações-meta estabelecidos no projeto informacional (ROZENFELD et al., 2006).

Dependendo do grau de novidade e complexidade do novo produto, pode ocorrer uma sobreposição entre os projetos conceitual e detalhado. Quanto menor o grau de novidade do produto para a empresa, o projeto conceitual será mais detalhado, pois é possível utilizar muitas informações dos produtos existentes. O projeto conceitual é rápido, chegando a especificar os SSC com certa precisão, e o projeto detalhado é mais simples. Por outro lado, quanto maior o grau de novidade do produto, somente os principais SSC serão identificados no projeto conceitual, sendo que a maioria será criada no projeto detalhado (ROZENFELD et al., 2006).

Essa sobreposição das fases influencia todos os aspectos do PDP, inclusive o ambiental. Por exemplo, em um projeto incremental, como já se tem muitas informações desde o início do desenvolvimento, a ACV qualitativa executada anteriormente já contém boa parte das informações do produto novo. Nesse caso, apenas uma revisão da matriz seja necessária para adequar as informações no projeto detalhado. Em outro extremo, no projeto de pesquisa avançada, a ACV completa só poderá ser executada no projeto detalhado. Muitas vezes nas fases

anteriores só é possível realizar avaliações através de ACV mais simplificadas devido a limitação de informações.

Em relação à complexidade, quanto maior o grau, o projeto conceitual será mais detalhado devido a necessidade de estabelecer definições mais precisas do produto, antes de dar continuidade ao projeto. Isso ocorre porque há um risco inerente aos projetos complexos. Como consequência, algumas atividades do projeto detalhado podem acontecer no projeto conceitual, não porque é possível reaproveitar muitas informações, mas porque é necessário ter informações mais precisas antes de dar continuidade ao projeto. Por exemplo, a avaliação de um SSC pode ocorrer já no projeto conceitual para entender se esse novo sistema pode ser incorporado ao produto (ROZENFELD et al., 2006). E como um exemplo de aplicação da ACV, em um projeto radical, pode ser necessário executar uma ACV, mesmo que simplificada, no projeto conceitual para entender se um determinado SSC apresenta melhora ambiental ou não.

Para garantir o paralelismo entre as atividades do projeto detalhado, as tarefas não acontecem de forma sequencial, mas através de vários ciclos. Após a atualização do plano de projeto, que ocorre em todas as fases, a principal atividade executada é o ciclo de detalhamento dos SSC e a partir desse ciclo são acionadas as atividades do ciclo de aquisição (para decidir fazer ou comprar SSC e desenvolver os fornecedores) e o ciclo de otimização (que avalia, configura, documenta o produto e processo, e omitiza quando necessário os SSC) (ROZENFELD et al., 2006).

O ciclo de otimização pode ocorrer ou não. Este ciclo acontece quando a avaliação dos SSC levanta um potencial de otimização, ou mesmo quando surgem problemas na análise de tolerâncias. Pode-se prever ainda a reaplicação dos

métodos DfX, incluindo DfE, e as ferramentas utilizadas na fase conceitual, pois as características finais dos SSC estão definidas (ROZENFELD et al., 2006). Portanto, nesse momento ainda há uma oportunidade, mesmo que pequena, para otimizar um produto em relação às questões ambientais.

Paralelamente aos ciclos mencionados, ocorrem as atividades de planejamento do processo de fabricação e montagem e o respectivo projeto de recurso, que pode envolver desde o projeto de uma ferramenta até o projeto de uma fábrica nova. Ainda na atividade de criar e detalhar os SSC, acontece a documentação final e a configuração do produto, após a finalização de todos os ciclos e atividades. Todas estas atividades devem estar alinhadas às especificações-meta, que devem refletir os objetivos ambientais do produto (ROZENFELD et al., 2006).

O final dos ciclos acontece ao concluir a avaliação dos SSC, quando todas as especificações são criadas e aprovadas (ROZENFELD et al., 2006). Se as especificações-meta foram definidas considerando as questões ambientais, espera-se que as especificações finais também sejam estabelecidas refletindo os objetivos ambientais iniciais. Nesse momento, Nielsen e Wenzel (2002) afirmam que, uma vez que o produto está definido em detalhes, a ACV pode ser executada considerando a especificação final, resultando no perfil do produto otimizado ambientalmente.

Em paralelo, também é criado todo material de apoio do produto, assim como é executado o projeto de embalagens. A atividade de criar o material de apoio do produto compreende a elaboração do material de treinamento para instalação, transporte, assistência técnica, entre outros (ROZENFELD et al., 2006). Além disso, também envolve a criação do manual específico para a operação do produto, que pode incluir recomendações de uso que reduzam o impacto ambiental nessa fase ao

otimizar o uso de recurso. Essas informações são importantes principalmente para aqueles produtos em que foi identificado um grande impacto na fase de uso e portanto o correto manuseio pelo usuário final torna-se crítico. Por fim, essa atividade também envolve a elaboração de instruções para o descarte e das informações técnicas sobre a descontinuidade do produto (ROZENFELD et al., 2006).

Quanto ao projeto de embalagem, há produtos em que a embalagem representa um dos principais impactos ambientais. O Modelo Unificado reconhece que de modo geral esse assunto não é devidamente trabalhado nas metodologias e até mesmo nos projetos das companhias (ROZENFELD et al., 2006).

Ressalta-se que as embalagens são extremamente importantes pois todo produto precisa ser transportado, armazenado e comercializado em embalagens. De acordo com Gurgel (2007), uma embalagem bem desenhada pode criar valor de conveniência e promocional. No caso de alguns produtos como alimentos, cosméticos e artigos de higiene pessoal, a embalagem é o primeiro contato do comprador com o produto, podendo atraí-lo ou afastá-lo. Kotler e Keller (2006) afirmam que a embalagem deve identificar a marca, transmitir informações descritivas e persuasivas, facilitar o transporte e proteger o produto, orientar sobre armazenagem e consumo do produto.

Atualmente há poucos estudos indicando como deve ser a aparência de um produto com impacto ambiental reduzido e como diferentes princípios podem ser explorados e implementados durante o desenvolvimento do produto sob a perspectiva do desenho industrial (MURTO, PERSON e AHOLA, 2014). Nos produtos onde a embalagem é o primeiro contato com o consumidor, é importante

que essa transmita a mensagem de conter um produto com menor impacto ambiental, o que pode se tornar uma vantagem competitiva.

Além disso, de modo geral é mais fácil realizar uma alteração na embalagem do que no produto em si. Portanto, há grandes oportunidades de ganhos ambientais nas embalagens. Uma vez detectadas essas oportunidades, estas devem ser consideradas logo no início, conforme mencionado no projeto informacional.

No projeto de embalagem, primeiramente deve-se definir a finalidade da embalagem. Em seguida, deve-se definir e analisar a movimentação requerida e a utilidade da embalagem, incluindo se será retornável ou não. Para definir as características da embalagem, deve-se então analisar as funções, que podem ser de contenção, proteção, comunicação e interação com outros materiais e ambientes. Como próximo passo, os elementos críticos do produto em relação à embalagem são identificados para garantir a adequação e compatibilidade. Por fim, é necessário realizar o projeto e processo de embalagem, que devem atender aos requisitos levantados anteriormente (ROZENFELD et al., 2006).

Quanto maior a complexidade da embalagem, o desenvolvimento deve iniciar mais cedo. Existem casos, inclusive, que a embalagem deve ser considerada parte do produto e conseqüentemente todas as questões ambientais devem ser consideradas para a embalagem da mesma forma que para o produto. Gurgel (2007) ainda observa que há casos em que o desenvolvimento da embalagem e do processo de embalamento pode assumir importância que chega até a superar o desenvolvimento do produto em si. Do ponto de vista da ACV, é importante incluir a embalagem dentro do estudo, pois esta pode apresentar um dos componentes mais importantes do ponto de vista ambiental.

Também deve ser criado o plano de fim de vida do produto, que consolida as informações sobre a retirada do produto do mercado e deve estar alinhado à estratégia do plano de fim de vida estabelecido nos estágios iniciais do projeto. As possíveis estratégias de descontinuidade do produto (como reciclagem, reutilização, remanufatura, desmontagem e descarte) foram definidas nos requisitos do produto, após análise do ciclo de vida e das análises de necessidades dos clientes de cada fase. No projeto conceitual as estratégias de descontinuidade foram consideradas na definição das soluções alternativas, através de ferramentas de DfE e DfD (*Design for Disassembly*). No projeto detalhado, uma vez que os SSC foram criados e detalhados, é necessário agregar as informações para elaborar o plano de fim de vida (ROZENFELD et al., 2006).

Depois de realizar todas as etapas mencionadas anteriormente, é necessário testar e homologar o produto, verificando se o produto atende a todos os requisitos estabelecidos, inclusive os ambientais. A homologação apresenta um aspecto formal e é um ponto de convergência e integração de todas as atividades de averiguação do produto. Essa atividade tem o objetivo de garantir o atendimento dos requisitos do produto, analisando os resultados do projeto e especificações finais, e também tem o objetivo de assegurar que o produto final atende aos requisitos de aplicação específica, testando o protótipo do produto. Portanto a versão final do protótipo é aprovada considerando todos os detalhes criados (ROZENFELD et al., 2006).

Em seguida, a documentação final do produto é enviada aos parceiros da cadeia de suprimentos. Deve-se utilizar essa documentação para comunicar, recomendar ou especificar requisitos ambientais, quando for pertinente a estes parceiros. Por fim, a fase termina com as atividades comuns a todas as fases: monitorar a viabilidade econômica (utilizando as especificações finais), avaliar e

aprovar a fase, documentação das decisões tomadas e registro das lições aprendidas (ROZENFELD et al., 2006).

4.2.5. Aplicação da ACV na Preparação da Produção e Lançamento do Produto

Muitas atividades dessas duas fases ocorrem em paralelo e ambas têm o objetivo em comum de colocar o produto no mercado, atendendo aos requisitos dos clientes identificados no projeto informacional e cumprindo as especificações finais do produto e processo de manufatura, elaboradas no projeto conceitual e detalhado. Enquanto que a preparação da produção envolve as atividades da cadeia de suprimentos do ponto de vista interno (produção do lote piloto, definição dos processos de produção e manutenção), a fase de lançamento do produto foca nas atividades para colocação do produto no mercado (ROZENFELD et al., 2006).

Na fase de preparação da produção ocorre a execução do lote piloto e, quando aprovado, o processo de fabricação é homologado. Após a homologação do processo, o produto resultante do lote piloto pode ser certificado, dependendo das regulamentações do mercado desse produto e das exigências dos clientes (ROZENFELD et al., 2006). Uma vez que o desenho do produto foi estabelecido em detalhes, o conjunto de efeitos ambientais do sistema de produto pode ser avaliado.

Nesse estágio, as oportunidades de mudanças são extremamente reduzidas (ROZENFELD et al., 2006). Conforme discutido anteriormente, ao longo do PDP as informações sobre o produto aumentam, enquanto que as possibilidades de melhoria ambiental diminuem. A aplicação prática da ACV completa é inversamente proporcional à oportunidade de influenciar no desenvolvimento de produto (KEOLEIAN, 1993). Uma comparação da aplicação da ACV com outros fatores, como análise

financeira e de mercado pode ser útil para entender a aplicação no PDP, pois o problema do Paradoxo do *Ecodesign* (Figura 1) também ocorre com outros parâmetros do PDP (KEOLEIAN, 1993).

Já a fase de lançamento do produto envolve os processos de apoio à comercialização do produto (venda, distribuição, assistência técnica e atendimento ao cliente), que normalmente iniciam antes e são finalizadas nesta fase. Além disso, a promoção do *marketing* de lançamento do produto ocorre nesse momento, podendo utilizar materiais como manuais, catálogos, propaganda, entre outros (ROZENFELD et al., 2006).

As informações obtidas através da ACV ao longo do processo de desenvolvimento podem ser utilizadas nessa divulgação. Caso necessário, nesse momento é possível realizar uma ACV completa do produto para assegurar e mensurar as melhorias ambientais. Além disso, pode-se comunicar as informações ambientais do produto através da rotulagem ambiental, de selos e de certificados, quando aplicável. É importante ressaltar que essa intenção de divulgar os resultados ambientais ao público deve ser prevista na elaboração do objetivo e escopo da ACV, e portanto interfere nos requisitos para conduzir este estudo.

No final dessas fases, o time de desenvolvimento é dissolvido e somente o núcleo fica à disposição para acompanhar as fases de acompanhamento do produto e de descontinuidade (ROZENFELD et al., 2006).

O Quadro 6 apresenta as principais propostas de aplicação da ACV na macrofase de desenvolvimento do PDP.

Quadro 6 - Resumo da proposta de aplicação da ACV no Desenvolvimento de Produtos

Desenvolvimento			
Projeto Informacional	Projeto Conceitual	Projeto Detalhado	Preparação da produção e Lançamento do produto
<ul style="list-style-type: none"> - Em projetos incrementais, usar ACV qualitativa (por exemplo, matriz MET e MECO) para estabelecimento de especificações-meta e desenvolvimento das concepções do produto (HUR et al., 2005) - Em projetos de plataforma, usar ACV semi quantitativa (por exemplo, com uma ferramenta que estima o perfil ambiental do produto baseado na sua categoria) para mapeamento do ciclo de vida (ADRIANKAJA et al. 2013; OKRASINSKI; MALIAN; ARNOLD, 2012) - Em projetos mais complexos, como os radicais, usar ACV quantitativa completa de um novo produto fictício para servir de referência para estabelecimento das especificações-meta (HUR et al., 2004; NIELSEN; WENZEL, 2002) - Utilizar o QFDE para converter os requisitos do produto em especificações-meta (MASUI; SAKAO; INABA, 2001) 	<ul style="list-style-type: none"> - Utilizar avaliações qualitativas para seleção da concepção e ACV para avaliação do conceito escolhido (HAUSCHILD et al, 2004) - Avaliar concepções de produto utilizando o perfil ambiental resultante de ACV gerada de acordo com o tipo de produto (SOUSA; WALLACE, 2006) - Ferramentas utilizadas: <i>checklists</i> (CLARK; CHARTER, 1999 e FIKSEL, 1996; ERNZER et al., 2003), matrizes qualitativas (ALLENBY, 1992) e modelos de ACV simplificados, baseados em informações qualitativas e semiquantitativas (GRAEDEL; ALLENBY, 1995; MUELLER; BESANT, 1999 e SETAC, 1999). 	<ul style="list-style-type: none"> - Atualizar ACV com informações do projeto detalhado (NIELSEN; WENZEL, 2002) 	<ul style="list-style-type: none"> - Informações geradas por uma ACV do produto final pode ser utilizada para a divulgação do novo produto. Nesse caso, deve-se prever na definição do escopo e objetivo da ACV a intenção de divulgar essas informações ao público

4.2.6. Aplicação da ACV no Pós Desenvolvimento

A macrofase de pós desenvolvimento é de extrema importância, pois garante ao PDP a compreensão de todo o ciclo de vida do produto. O principal objetivo é acompanhar o desempenho do produto na produção e no mercado, identificando as necessidades e oportunidades de melhoria e assegurando que o fim de vida cause o menor impacto aos consumidores, à empresa e ao meio ambiente. Para a execução, um time de acompanhamento é formado com a participação de alguns integrantes

do time de desenvolvimento, além de representantes de *marketing* e de novos membros da produção (ROZENFELD et al., 2006).

Na fase de acompanhamento do produto e processo ocorre o tratamento dos problemas relacionados ao produto e são executadas quatro atividades que apresentam pouca interdependência entre si: realizar auditoria pós-projeto, avaliar satisfação do cliente, monitorar desempenho do produto e registrar lições aprendidas. Não existe uma fase inicial única e o encerramento não é marcado por uma atividade final, mas pela definição do fim de vida do produto (ROZENFELD et al., 2006).

Desta forma, a fase de descontinuar o produto pode se iniciar devido um plano predefinido ou devido resultados de análises da fase de acompanhamento, que indicam a necessidade de acionar o plano de fim de vida do produto. É importante lembrar que o plano de fim de vida deve ser desenvolvido desde o projeto conceitual e portanto a empresa já deve estar preparada para executar o plano logo após o lançamento do produto (ROZENFELD et al., 2006).

De acordo com o Modelo Unificado, o início da descontinuidade ocorre a partir da primeira devolução do produto por um cliente, sendo que a empresa deve estar preparada para receber esse produto. A produção é descontinuada quando o produto não apresenta mais vantagem e importância do ponto de vista econômico ou estratégico. O final da fase é marcada pelo encerramento do apoio ao cliente, ou seja, pelo fim da assistência técnica, atendimento ao cliente e descontinuidade das peças de reposição (ROZENFELD et al., 2006).

Do ponto de vista ambiental, nessa macrofase a melhoria contínua exige uma base de comparação dos efeitos ambientais do sistema de produto. Para isso, Keoleian (1993) afirma que a ACV é a forma mais abrangente de estabelecer essa

base, pois é difícil afirmar que houve melhorias sem uma metodologia para medir e agregar os efeitos ambientais. O autor também afirma que a Análise da Melhoria do Ciclo de Vida pode ser usada no desenvolvimento de produtos. Nesse caso, o perfil ambiental do produto existente é estabelecido através do inventário do ciclo de vida e/ou da avaliação de impacto, com o objetivo de identificar oportunidades de melhorias. De acordo com Keoleian (1993), uma vez que a análise é feita em um produto existente, as melhorias ficam limitadas para pequenas mudanças, podendo ser utilizada em projetos incrementais ou, no máximo, em projetos de plataforma.

Para Nielsen e Wenzel (2002), desenvolver um produto utilizando ACV como ferramenta de *Ecodesign* pode demandar muito tempo, mas há benefícios resultantes de um trabalho bem documentado em relação ao perfil ambiental. A partir do momento que o primeiro produto for desenvolvido aplicando esse método, os autores mencionam as seguintes vantagens:

- Modificações futuras do produto estudado podem ser testadas de forma rápida em relação ao perfil ambiental antes da implementação.
- Conclusões relacionadas aos processos e materiais podem ser transferidos em larga escala do produto estudado para outros produtos da mesma família.
- Novos modelos de ACV de produtos da mesma família podem ser baseados no modelo e dados existentes.

Millet et al. (2007) observaram que o uso da ACV cria um novo conhecimento sobre as relações entre um produto e seu impacto ambiental. Esse novo entendimento pode ajudar a estabelecer programas de pesquisa e influenciar nas políticas da empresa, graças a dois tipos de conhecimento:

- Sobre os componentes que causam maior dano ambiental: podem levar a criação de programas de pesquisa para substituição desses componentes
- Sobre as etapas que causam maior dano ambiental: podem levar a definir estratégias focando nas maiores oportunidades ambientais.

Dessa forma, os autores consideram a ACV mais como uma ferramenta para identificar as principais tendências do que uma ferramenta de desenvolvimento propriamente dito. Millet et al. (2007) argumentam que a companhia deve usar a ACV para adquirir conhecimento a longo prazo, usando a informação obtidas através da ACV dos produtos lançados para analisar as novas possibilidades de desenvolvimento, no nível estratégico.

No ciclo de vida de um produto, da mesma forma que processos como reciclagem, reutilização e remanufatura possibilitam aproveitar alguns recursos naturais, é necessário estabelecer processos que possibilitem aproveitar as informações, incluindo as ambientais, geradas ao longo da vida do produto para retroalimentar o sistema para o desenvolvimento de novos produtos, desde o plano estratégico.

O Quadro 7 apresenta um resumo com a proposta de aplicação da ACV no Pós desenvolvimento.

Quadro 7 - Resumo da proposta de aplicação da ACV no Pós Desenvolvimento de Produtos

Pós Desenvolvimento
Acompanhar e Descontinuar o Produto
- Utilizar o conhecimento adquirido com a ACV durante o PDP para retroalimentar o sistema e fornecer informações para analisar as novas possibilidades de desenvolvimento, a nível estratégico (MILLET et al., 2007)

5. ESTUDO DE CASO

O estudo de caso foi executado em duas etapas e atende ao segundo e terceiro objetivos específicos desse trabalho. A primeira etapa desse estudo tem o objetivo de propor um procedimento de aplicação da ACV no Processo de Desenvolvimento de Produtos de uma empresa. A segunda etapa foi conduzida de forma a discutir a proposta feita para o PDP da empresa.

5.1. Desenvolvimento de produto aplicando a ACV

A primeira etapa do estudo de caso inicia-se relatando como um projeto de desenvolvimento de produto aplicou a ACV, resultando em um produto com menor impacto ambiental. A empresa escolhida para o estudo é uma multinacional, localizada no estado de São Paulo, produtora de bens não duráveis e voltada ao setor de higiene, saúde e beleza. O projeto avaliado no estudo de caso foi o desenvolvimento de um dispositivo higiênico que contém em sua estrutura principal 40% de material reciclado pré consumo e 60% de material virgem. Por motivos de confidencialidade, a identidade da empresa e do projeto não pode ser revelada.

Conforme mencionado na seção 2.3.3, entrevistou-se os principais envolvidos no projeto: um supervisor responsável pela manufatura, o engenheiro responsável pelo projeto e o cientista de pesquisa e desenvolvimento que liderou o projeto. Além disso, a ACV do produto foi conduzida pela autora, juntamente com outros pesquisadores. Maiores informações sobre o estudo de caso encontram-se em Narimatsu et al. (2013).

De acordo com a tipologia de projetos apresentada por Rozenfeld et al. (2006), o projeto desse estudo de caso é do tipo plataforma, uma vez que envolveu

alteração significativa na estrutura do produto, mas sem a introdução de uma nova tecnologia.

Antes de relatar o desenvolvimento do produto aplicando a ACV, é necessário correlacionar o Modelo Unificado ao processo de desenvolvimento de produtos da empresa. Essa possui diversos centros de pesquisa no mundo que seguem o mesmo PDP estabelecido pela matriz, sendo que esse processo apresenta muitas semelhanças com o Modelo Unificado. A Figura 10 ilustra a comparação entre os dois modelos, sendo que os nomes das etapas do PDP da empresa foram adaptadas, pois a descrição original está em outra língua, preservando-se a essência de cada etapa.

Figura 10 - Comparação entre Modelo Unificado e PDP da empresa do estudo de caso para projeto plataforma

A macrofase de pré desenvolvimento da empresa é denominada “Definir” e engloba todas as fases iniciais. Para projetos tipo plataforma, as fases de Projeto Informacional e Conceitual ocorrem em uma única etapa no Modelo Unificado. Da mesma forma, essas atividades ocorrem em uma fase na empresa, chamada “Projetar”. O Projeto Detalhado é denominado “Desenvolver” e as fases de Preparação da produção e lançamento do produto ocorrem em uma fase que se chama “Lançar”. Por fim, a macrofase de pós desenvolvimento é denominada “Acompanhar” e envolve todas as atividades relacionadas ao produto após seu lançamento.

Desta forma, o dispositivo higiênico foi desenvolvido baseado no processo apresentado na Figura 10. Na etapa “Definir”, utilizou-se a ACV de um produto referência da categoria ao qual o dispositivo higiênico pertence para identificar as oportunidades de melhoria ambiental. A ACV foi conduzida por uma empresa especializada, que utilizou o IMPACT 2002+ como método de avaliação de impacto, agrupando os impactos nas seguintes categorias: saúde humana, qualidade do ecossistema, mudanças climáticas e consumo de recursos. Por motivos de confidencialidade, os resultados dessa ACV não podem ser divulgados.

De acordo com as informações obtidas das fases de Avaliação de Impacto e Interpretação da ACV, a fase de obtenção de matéria prima representa a maior contribuição para todas as categorias avaliadas, representando aproximadamente 70% dos impactos relacionados à saúde humana e mudanças climáticas e chegando a representar mais de 90% dos impactos relacionados à qualidade do ecossistema. Portanto, as maiores oportunidades de redução do impacto ambiental ocorrem na fase de obtenção de matéria prima.

A Figura 11 mostra esquematicamente que, a partir da necessidade de identificar e selecionar oportunidades de produtos, inicia-se uma ACV através da Definição de Objetivo e Escopo, cujo propósito é identificar em um produto de referência quais as oportunidades ambientais que o novo produto pode apresentar. As informações geradas nas fases de Avaliação de Impacto e Interpretação da ACV do produto de referência são utilizados na fase "Definir" para orientar na identificação de oportunidades de novos produtos, na geração de novos conceitos e direcionar no planejamento estratégico e priorização de projetos.

Figura 11 - Aplicação da ACV ao processo de desenvolvimento de produtos na fase "Definir"

Uma vez identificada a oportunidade através das informações das fases de Avaliação de Impacto e Interpretação da ACV do produto de referência, trabalhou-se na etapa "Projetar" focando na redução do consumo de matéria-prima e consequentemente na redução do seu impacto ambiental. O foco desse desenvolvimento era, além da redução do impacto ambiental, a redução de custo. Trabalhou-se portanto no desenho do produto, de forma a consumir o mínimo de

material necessário para garantir as propriedades e requisitos de qualidade. Além disso, incorporou-se na estrutura principal do produto 40% de material reciclado pré consumo, o que garantiu sua viabilidade econômica.

O material reciclado pré consumo é resultante de um outro processo produtivo que ocorre na mesma planta de manufatura (Figura 12). Esse resíduo, que era então descartado em aterros sanitários, passou a ser incorporado no processo produtivo do novo dispositivo higiênico (Figura 13). Desta forma, além de diminuir o consumo de material virgem para a produção do novo produto, reduziu-se a geração de resíduos originados no processo produtivo dos outros dispositivos fabricados na mesma planta de manufatura.

Figura 12 - Fluxo de materiais antes do desenvolvimento do novo dispositivo higiênico

Figura 13 - Fluxo de materiais depois do desenvolvimento do novo dispositivo higiênico

Nessa etapa do projeto (fase “Projetar”), realizou-se uma ACV preliminar, avaliando apenas o componente principal do novo dispositivo, na qual estava sendo incorporado 40% de material reciclado e que representa cerca de 90% em massa de todo o dispositivo. Para esse estudo, utilizou-se o método EDIP 97 para avaliação dos impactos ambientais e comparou-se o desempenho ambiental do novo dispositivo em relação ao dispositivo atual. As fases do ciclo de vida consideradas no estudo foram: obtenção de matéria-prima, transporte e manufatura do principal componente do dispositivo. O fluxo de referência foi “1 tonelada de material para produzir o componente principal do dispositivo higiênico” e as categorias de impacto potenciais avaliadas nesse estudo preliminar foram: aquecimento global e consumo de recursos (renováveis, não renováveis e energia).

Os resultados da fase de Avaliação de Impacto da ACV preliminar encontram-se nas Figuras 14 a 17. Na fase de Interpretação da ACV, observa-se que o novo produto apresentou menor impacto ambiental para todas as categorias avaliadas, exceto para o consumo de energia. Esse fato era esperado, uma vez que é necessário incluir um processo adicional entre a coleta de resíduo e a sua adição na produção do dispositivo higiênico. Esse processo é necessário para garantir a incorporação apropriada do resíduo ao principal componente do novo dispositivo. Mesmo com o consumo maior de energia, os resultados da ACV preliminar indicam que o novo produto pode apresentar ganho ambiental.

Figura 14 – Comparação do aquecimento global potencial da ACV preliminar

Figura 15 – Comparação do consumo de recurso não renovável da ACV preliminar

Figura 16 – Comparação do consumo de recurso renovável da ACV preliminar

Figura 17 - Comparação do consumo de energia da ACV preliminar

A Figura 18 destaca a execução da ACV preliminar na fase "Projetar", utilizando as informações disponíveis até essa fase do projeto. Ou seja, após a identificação da oportunidade baseada na primeira ACV do produto de referência, desenvolve-se o conceito de um novo produto focando na melhora ambiental. Inicia-se uma ACV preliminar, através da fase de Definição de Objetivo e Escopo, cujo propósito é avaliar se o novo conceito apresenta melhora ambiental. As informações geradas nas fases de Avaliação de Impacto e Interpretação da ACV preliminar são

utilizadas para dar continuidade ao projeto, indicando a melhoria ambiental ou identificando se é necessário algum ajuste.

Figura 18 - Aplicação da ACV ao processo de desenvolvimento de produtos na fase “Projetar”

Na etapa “Desenvolver” as especificações finais foram concluídas e portanto foi possível atualizar a ACV com os dados completos do novo produto. Uma vez que se trata de uma atualização da ACV, manteve-se o método EDIP 97 para avaliação

dos impactos ambientais. Todas as fases do ciclo de vida do produto foram incluídos, ou seja: obtenção de matéria-prima, transporte, manufatura do dispositivo higiênico e fim de vida. O fluxo de referência desse estudo foi “1000 dispositivos higiênicos” e todas as categorias listadas no método foram avaliadas: consumo de recursos (renováveis, não renováveis e energia), aquecimento global, destruição do ozônio estratosférico, formação fotoquímica de ozônio, acidificação, eutrofização, ecotoxicidade e toxicidade humana. Para avaliar a relevância dos impactos potenciais, a contribuição de cada impacto potencial foi normalizado para o consumo anual, utilizando o método EDIP 97.

Observa-se nas Figuras 19 a 22 os resultados de algumas categorias avaliadas na fase de Avaliação de Impacto da ACV do produto detalhado. Verifica-se que, pelo mesmo motivo mencionado na ACV preliminar do produto, o consumo de energia para o novo dispositivo é maior. Para todas as demais categorias de impacto, há um menor impacto potencial associado ao produto novo quando comparado ao atual. Ainda na fase de AICV, realizou-se a normalização dos dados. A Figura 23 mostra os dados normalizados, onde é possível observar que o novo dispositivo apresenta 44% menos impacto ambiental potencial. Esse resultado indica que o dispositivo novo, que utiliza 40% de material reciclado na composição do seu principal componente, apresenta um ganho ambiental quando comparado à versão anterior, que utiliza 100% material virgem.

Figura 19 - Comparação do aquecimento global potencial da ACV final

Figura 20 - Comparação do consumo de recurso não renovável da ACV final

Figura 21 - Comparação do consumo de recurso renovável da ACV final

Figura 22 - Comparação do consumo de energia da ACV final

Figura 23 - Dados normalizados para comparar o desempenho ambiental dos dispositivos

A Figura 24 destaca a execução da ACV na fase "Desenvolver", ao final dessa fase. De posse das informações detalhadas do produto em desenvolvimento, atualiza-se a ACV preliminar executada anteriormente. Para isso, revisa-se o Escopo e Objetivo, agora visando avaliar o produto com mais detalhes. As informações geradas na fase de Avaliação de Impacto e Interpretação devem confirmar o ganho ambiental do novo produto ou identificar ajustes necessários.

Figura 24 - Adaptação da aplicação da ACV ao processo de desenvolvimento de produtos da empresa na fase "Desenvolver"

Uma vez lançado o produto, a próxima atividade seria a atualização da ACV com as informações do produto em comercialização. No entanto, não foi possível realizar essa atualização pois alguns processos produtivos e fluxos estão sendo otimizados, sendo necessário estabilizar a nova condição para então atualizar a ACV. Devido a restrição de tempo, essa atividade não será executada. Mas é importante ressaltar que as informações geradas até o momento já são utilizadas para retroalimentar o processo de desenvolvimento de produtos. Novos desenvolvimentos foram realizados baseados no mesmo princípio de se aproveitar o resíduo de um processo produtivo para ser incorporado em outro processo dentro da mesma planta de manufatura.

A Figura 25 ilustra o uso das informações geradas pela ACV no momento do lançamento. Para o projeto do estudo de caso, decidiu-se não divulgar o ganho ambiental. Mas caso fosse decidido realizar essa divulgação, poderia utilizar o resultado das fases de Avaliação de Impacto e Interpretação da ACV, desde que essa fosse executada atendendo aos requisitos para divulgação pública. Já a Figura 26 destaca o aproveitamento das informações da ACV atualizada para orientar os novos desenvolvimentos de produtos. Ou seja, toda a informação gerada pela ACV do produto desenvolvido pode ser utilizada como informação para a identificação de novas oportunidades, atuando no pré desenvolvimento. Além disso, quanto mais Avaliações do Ciclo de Vida forem sendo executadas, aumenta-se o conhecimento sobre o perfil ambiental dos produtos, o que auxilia no direcionamento estratégico da empresa.

Figura 25 - Aplicação da ACV ao processo de desenvolvimento de produtos na fase "Lançar"

Figura 26 - Aplicação da ACV ao processo de desenvolvimento de produtos na fase “Acompanhar”

Baseado no desenvolvimento relatado, propõe-se um procedimento de aplicação da ACV no processo de desenvolvimento da empresa, ilustrado na Figura 27 e discutido a seguir.

Figura 27 - Aplicação da ACV ao processo de desenvolvimento de produtos da empresa para projetos plataforma

Na fase “Definir”, a ACV de um produto representante da categoria do novo produto é utilizado como referência. Essa atividade é baseada no trabalho de Vezzoli e Sciama (2006), que sugerem agrupar os produtos de uma empresa em

categorias e realizar a ACV de um representante de cada categoria, e está representada na Figura 27 na seta 1a.

Na empresa as informações geradas nas fases de AICV e Interpretação dessa ACV podem ser utilizadas para a identificação de oportunidades de produtos (*hot spots*), na geração de conceitos e na priorização dos projetos durante o planejamento estratégico de produtos. Isso está representado na Figura 27 pela seta identificada como 1b.

Já na etapa “Projetar” as soluções de projeto são geradas e avaliadas, até chegar na melhor solução possível, resultando no protótipo final. Na Figura 27, isso está representado na seta 2a. Esse protótipo não possui necessariamente todos os detalhes de produto e processo definidos, que serão estabelecidos na próxima fase. Mesmo assim, já é possível realizar uma ACV preliminar do produto com o novo conceito. As informações geradas nessa fase possibilitam o início da ACV, enquanto que os dados da AICV e da Interpretação da ACV são úteis para avaliar se o novo conceito apresenta ganho ambiental e se atende às especificações-meta do projeto, estando representado na Figura 27 pela seta 2b.

Na etapa “Desenvolver” a concepção do produto é detalhada e transformada em especificações finais. Pode-se então atualizar a ACV com as informações do produto final, representado seta 3a da Figura 27. Desta forma, o resultado dessa ACV valida o ganho ambiental, conforme representado pela seta 3b da Figura 27. Além disso, este estudo pode suportar a divulgação do ganho ambiental que este produto apresenta, caso essa divulgação tenha sido prevista no planejamento do projeto. A representação do uso das informações da ACV no lançamento do produto está indicada na seta 4b da Figura 27. Nesse caso, é necessário estabelecer

previamente na definição do escopo e objetivo da ACV a intenção de divulgar essas informações ao público.

Na etapa “Acompanhar”, a ACV pode ser atualizada com as informações do produto lançado, representado no Figura 27 pela seta 5a. Os resultados gerados nas fases de AICV e Interpretação da ACV são úteis para retroalimentar o PDP fornecendo informações para os próximos desenvolvimentos, conforme representado pela seta 5b da Figura 27. Desta forma, o aumento no conhecimento sobre os produtos da empresa através das informações obtidas durante o desenvolvimento desse produto ajuda a resolver o Paradoxo do *Ecodesign*. Ressalta-se que a construção desse conhecimento não é imediata e requer recursos adicionais. No entanto, a longo prazo, os ganhos obtidos resultam em um desenvolvimento mais robusto.

Essa proposta é adaptada para o PDP da empresa e para o tipo de projeto deste estudo (projeto plataforma). Ao variar o tipo de projeto, a proposta certamente será diferente. Por exemplo, para um projeto de pesquisa avançada pode ser que não haja um produto de referência para realizar a primeira ACV na etapa “Definir” e novas considerações deverão ser feitas. Da mesma forma, outras empresas possuem modelos distintos de PDP, assim como diferente nível de maturidade relacionado ao *Ecodesign* e portanto a aplicação da ACV deve se adaptar às particularidades de cada empresa.

5.2. Avaliação da aplicabilidade da ACV em todos os projetos do PDP da empresa

Essa parte do estudo tem o objetivo de entender se a ACV pode ser aplicada de forma sistemática em todo processo de desenvolvimento de produtos da

empresa. Cinco pessoas foram entrevistadas, conforme informações encontradas no Quadro 8.

Na macrofase de pré desenvolvimento, os entrevistados concordaram em agrupar os produtos em categorias, baseado em conhecimento prévio sobre o perfil ambiental dos produtos. Pode-se conduzir a ACV de um ou mais produtos que representem cada categoria. O conhecimento gerado pelo perfil ambiental dos produtos representantes de cada categoria serve para direcionar os novos desenvolvimentos de produtos, além de ajudar na identificação de oportunidades de novos produtos considerando os *hot spots* dos produtos atuais. Para a escolha dos produtos representantes das categorias, o entrevistado responsável pelo desenvolvimento e pelo pós desenvolvimento sugeriram considerar critérios como volume de produção e venda, importância estratégica do produto para a companhia e relevância ambiental.

Quadro 8 - Perfil dos entrevistados que avaliaram a aplicabilidade da ACV em todos os projetos do PDP da empresa

Entrevistado	Área de atuação	Cargo	Formação acadêmica	Tempo de experiência com Pesquisa e Desenvolvimento
1	Pré desenvolvimento	Diretor Técnico	Graduação em Engenharia Química e em Administração de Empresas. MBA em Conhecimento de Tecnologia e Inovação	27 anos
2	Desenvolvimento	Cientista Sênior	Graduação em Engenharia de Alimentos	8 anos
3	Pós Desenvolvimento	Cientista Sênior	Graduação em Química	10 anos
4	Desenvolvimento de embalagens	Diretor	Graduação em Engenharia Industrial. Pós graduação em Administração Industrial	18 anos
5	Implementação do novos produtos	Diretor	Doutor em Química Orgânica	17 anos

Na macrofase de desenvolvimento, de acordo com todos os entrevistados, não é viável executar uma ACV para cada produto a ser desenvolvido na empresa. Sendo uma empresa de bens de consumo não durável de grande porte, mais de 100 produtos são lançados a cada ano. Não seria viável conduzir essa quantidade de avaliações. Além disso, a execução da ACV exigiria atividades adicionais no desenvolvimento do produto o que causaria um aumento no tempo desse desenvolvimento. A velocidade de desenvolvimento é um fator bastante crítico para esse tipo de empresa e diminuir essa velocidade pode causar a redução da sua competitividade. O entrevistado responsável pelo desenvolvimento das embalagens ainda afirmou: “A execução de uma ACV demora meses, podendo exceder um ano de duração, enquanto que os produtos de consumo não durável tendem a ter uma vida cada vez menor. Em algumas vezes, sua descontinuação ocorre após alguns anos.”

O entrevistado responsável pela implementação dos novos produtos sugeriu: “Pode-se utilizar a informação gerada pelas ACV para criar critérios e um *checklist* para direcionar o desenvolvimento dos produtos, baseado nas categorias.” A ideia é converter a informação da ACV em diretrizes tangíveis aos profissionais responsáveis pelo desenvolvimento. Cada categoria de produto possui suas particularidades e por isso é necessário elaborar critérios diferentes para cada categoria, de forma a torná-los efetivos no direcionamento do desenvolvimento.

Já o entrevistado responsável pelo pós desenvolvimento sugeriu “incluir no planejamento do projeto uma pergunta se esse projeto vai considerar a questão ambiental ao longo do desenvolvimento.” Essa sugestão é baseada em um documento que registra o planejamento do projeto, antes de iniciar sua execução. Nesse documento, pode-se solicitar que o cientista inclua quais as iniciativas que

serão feitas no projeto de modo a ter um produto com melhor desempenho ambiental. Desta forma, é possível garantir que em todos os projetos seja feita a análise se os parâmetros ambientais farão parte dos critérios de avaliação do projeto.

Uma vez decidido que critérios ambientais serão incluídos, o *checklist* elaborado previamente poderia ser utilizado no direcionamento do desenvolvimento. Desta forma, o desempenho ambiental do produto em desenvolvimento seria avaliado a cada *gate*, onde é decidido prosseguir ou não com o projeto baseado nesse critério, juntamente com os demais critérios do projeto como custo, prazo, capacidade de produção, entre outros.

O planejamento do projeto é a etapa onde deve ser discutido se, além de incluir a questão ambiental no desenvolvimento do produto, pretende-se comunicar publicamente o ganho ambiental do produto. Nesse caso, é necessário planejar a execução da ACV e incluir na etapa de Definição do Escopo e Objetivo essa intenção, o que exigiria alguns critérios adicionais na condução da ACV, incluindo por exemplo, a avaliação do estudo por pessoas externas e independentes. O responsável pelo desenvolvimento das embalagens levantou a preocupação em evitar o *greenwashing*, ou seja, a comunicação indevida de ganhos ambientais sem a ter de fato a comprovação desses ganhos (LYON e MAXWELL, 2011). Nesse caso, a ACV mostra-se como ferramenta mais adequada para esse fim.

Além do *checklist*, os responsáveis pela fase de desenvolvimento e pelo desenvolvimento das embalagens levantaram a existência de ferramentas já disponíveis na empresa e que auxiliam no *Ecodesign*. Já existe uma ferramenta que orienta a escolha de matérias primas, baseando-se em critérios como persistência ambiental, bioacumulação e toxicidade. Essa ferramenta poderia ser utilizada em

produtos cujo perfil ambiental mostrasse que há oportunidades nas matérias primas que se encontram nessa ferramenta. Também está disponível uma ACV simplificada que avalia o perfil ambiental de embalagens e que poderia ser utilizado em produtos em que a embalagem apresenta maiores oportunidades ambientais.

No entanto, os entrevistados observaram que ainda falta algumas informações e ferramentas para direcionar o *Ecodesign* na empresa. Em muitas etapas do ciclo de vida, não há critérios ambientais estabelecidos para orientar a escolha entre as diferentes soluções para o projeto. É necessário tornar a informação mais acessível para quem está desenvolvendo os produtos.

Um aspecto muito enfatizado foi a necessidade de apoio da alta gerência e da inclusão da questão ambiental dentro da estratégia da empresa. Como em alguns casos a inclusão de critérios ambientais no desenvolvimento do produto não apresenta um ganho a curto prazo e pode-se concluir erroneamente que não há uma vantagem financeira e competitiva. Muitas vezes, é necessário o apoio daqueles que possuem uma visão mais estratégica e de longo prazo para que esses projetos possam acontecer.

Em relação á macrofase de pós desenvolvimento, os entrevistados concordaram com a proposta de atualizar a ACV com o objetivo de retroalimentar o PDP para direcionar os novos desenvolvimentos. Essa seria uma forma de otimizar o uso das informações geradas no projeto. Além disso, essa ACV pode facilitar o trabalho de execução de uma ACV no próximo projeto, uma vez que muitas informações podem ser aproveitadas e pode-se fazer um comparativo entre as diferentes gerações de produtos.

5.3. Discussões sobre o estudo de caso

Através do estudo de caso foi possível propor um procedimento para a aplicação da ACV em todas as fases do PDP para uma empresa e um tipo de projeto específicos. Em seguida, realizou-se entrevistas para avaliar se é possível aplicar a proposta em todos os projetos de desenvolvimento de produtos, ou quais as recomendações para torná-la aplicável. É importante ressaltar que a abordagem de estudo de caso limita as generalizações das observações, porque é focado em uma organização específica com suas características e contextos distintos.

Para a macrofase de pré desenvolvimento, os entrevistados concordam que separar os produtos em categorias e utilizar as informações da ACV dos representantes das categorias é viável e ajuda na identificação de oportunidades de novos produtos com melhor desempenho ambiental.

Na fase de desenvolvimento, de acordo com os entrevistados não é viável aplicar a ACV em todos os projetos de desenvolvimento de produtos na empresa do estudo de caso, devido a natureza da empresa (de bens de consumo não duráveis) e a alta quantidade de produtos lançados por ano. Foi sugerido adicionar no planejamento de todos os projetos um questionamento se as questões ambientais serão incluídas no desenvolvimento do produto, sendo essa decisão feita baseada na estratégia da empresa.

Desta forma, a ACV não será executada em todos os projetos, mas será questionada a inclusão de critérios ambientais em todos os projetos durante seu planejamento. Esse seria o momento de decidir se a ACV será aplicada durante o desenvolvimento, se serão utilizadas ferramentas baseadas nas informações da ACV ou se nenhum critério ambiental será incluído no desenvolvimento do produto. No caso de projetos onde seja decidido aplicar a ACV durante o desenvolvimento,

os entrevistados concordam com a proposta feita. Algumas sugestões e recomendações foram feitas para o caso onde se decida utilizar ferramentas baseadas nas informações da ACV.

Uma vez decidido incluir a questão ambiental no desenvolvimento de um produto, deve-se considerar as duas possibilidades: aplicar a ACV ou aplicar ferramentas baseadas nas informações da ACV. O uso da ACV durante o desenvolvimento do produto traz a vantagem de obter informações específicas do novo produto em questão. Isso reduz o risco de tomar decisões equivocadas baseadas em simplificações que desconsideram particularidades que podem ser críticas. Além disso, se pretende-se divulgar publicamente a melhoria ambiental do novo produto, a ACV é capaz de suportar de forma robusta essa divulgação. No entanto, a execução da ACV dentro do desenvolvimento de um novo produto requer recursos adicionais e muitas vezes pode exigir um maior tempo de desenvolvimento, o que pode inviabilizar alguns projetos.

Por outro lado, o uso de ferramentas baseadas nas informações da ACV simplifica o processo de obtenção das informações ambientais e pode ser capaz de direcionar o projeto de forma efetiva. Ressalta-se no entanto que a qualidade das informações geradas por ferramentas simplificadas é menor do que da ACV do produto, o que pode comprometer a qualidade das decisões tomadas durante o desenvolvimento. É necessário considerar o objetivo do projeto, bem como as vantagens e desvantagens do uso da ACV ou ferramentas simplificadas de ACV para decidir como o projeto será conduzido.

Embora existam algumas ferramentas de *Ecodesign* disponíveis na empresa, nem todos as conhecem e utilizam. Além disso, essas são restritas para algumas categorias de produtos e tipos de materiais. Foi sugerido elaborar ferramentas

baseadas nas informações das ACV dos produtos de cada categoria, de forma a complementar o que já está disponível. O objetivo seria direcionar na fase de desenvolvimento a tomada de decisão baseada na informação sobre o perfil ambiental do produto.

Na macrofase de pós desenvolvimento, o desafio é garantir que a ACV seja atualizada com as informações do produto lançado, uma vez que os entrevistados concordam que essa informação é importante para retroalimentar o PDP para direcionar os novos desenvolvimentos. Existe na empresa um processo formal de passagem de responsabilidade de um produto lançado para o time de pós desenvolvimento. Nesse processo, o time de desenvolvimento de produtos passa, após um determinado período de tempo de lançamento do produto, todas as informações relacionadas ao desenvolvimento e implementação do novo produto, bem como informações de capacidade do processo de produção. Dentro dessa passagem, pode-se incluir as informações ambientais atualizadas.

Toda execução do projeto é consequência do seu planejamento. A decisão de incluir a questão ambiental no desenvolvimento de um novo produto ocorre no planejamento do projeto e é baseada na estratégia da empresa. Por isso, é fundamental que essa empresa tenha uma estratégia de realizar o *Ecodesign*. O modelo proposto só poderá ser executado se o direcionamento estratégico da empresa leve à decisão de incluir a questão ambiental dentro dos projetos. Por isso, o apoio da alta gerência é muito importante para que os critérios ambientais sejam incluídos cada vez mais dentro do desenvolvimento dos produtos.

Através desse direcionamento estratégico é possível superar as barreiras encontradas no *Ecodesign*, tais como falta de investimento, de recursos humanos capacitados no time de desenvolvimento e falta de integração da área ambiental dentro do PDP.

6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho contribui para orientar a execução do *Ecodesign* através da aplicação da ACV no Processo de Desenvolvimento de Produtos. Para atender ao primeiro objetivo específico desse trabalho, discutiu-se como executar o *Ecodesign* por meio do uso da ACV no Processo de Desenvolvimento de Produtos, considerando todas as fases do desenvolvimento: o pré, o desenvolvimento propriamente dito e o pós. Essa discussão foi realizada com base na análise das entradas e saídas de cada tarefa do PDP, assim como nas informações necessárias e resultantes de uma ACV. Além disso, buscou-se nas referências bibliográficas trabalhos propondo a aplicação da ACV no desenvolvimento de produtos e analisou-se em qual etapa do PDP cada trabalho estava se referindo. Os resultados dessa etapa estão resumidos nos Quadros 5 a 7.

Para atender ao segundo objetivo específico, realizou-se a primeira parte do estudo de caso, que resultou na proposta de um procedimento de aplicação da ACV em todas as fases do PDP de uma empresa. Essa proposta foi feita baseada em um projeto de desenvolvimento de um novo produto onde aplicou-se a ACV e obteve-se um produto com melhor desempenho ambiental. A principal característica dessa proposta está em seu embasamento teórico e sua comprovação de execução prática.

Essa proposta foi então submetida à avaliação de envolvidos com o desenvolvimento de produtos por meio de entrevistas semi-estruturadas. Essa foi a segunda parte do estudo de caso e que atende ao terceiro objetivo específico. O objetivo era realizar uma análise crítica da proposta feita anteriormente, avaliando a

possibilidade de aplicá-la de forma sistemática em todos os projetos de desenvolvimento de produtos da empresa.

Nessa etapa, verificou-se que a ACV é uma importante fonte de informação na macrofase de pré desenvolvimento, ajudando na identificação de novas oportunidades e auxiliando na priorização de projetos. Além disso, na macrofase de pós desenvolvimento, a informação gerada pela ACV deve ser aproveitada para retroalimentar o PDP e orientar os novos desenvolvimentos. Nessas duas macrofases, os entrevistados concordaram com o procedimento proposto.

Já para a macrofase de desenvolvimento, os entrevistados sugeriram adicionar no planejamento do projeto uma avaliação para incluir ou não a questão ambiental. Desta forma, o planejamento do projeto é um momento crítico para definir se *Ecodesign* será executado, sendo essa decisão feita baseada na estratégia da empresa. Uma vez decidido incluir critérios ambientais, deve-se definir como deve ocorrer esse desenvolvimento: aplicando a ACV ou ferramentas baseadas nas informações da ACV. Ambas as abordagens apresentam vantagens e desvantagens e a decisão deve ser novamente tomada baseada na estratégia da empresa para o produto. Ao decidir aplicar a ACV como forma de executar o *Ecodesign*, os entrevistados concordaram com o procedimento proposto.

Para os casos em que se decidir aplicar ferramentas baseadas nas informações da ACV, identificou-se a falta de ferramentas que direcionem a tomada de decisão. Existem algumas ferramentas com esse objetivo, mas que não cobrem todos os tipos de produtos e materiais da empresa. Além disso, nem todos as conhecem e utilizam. Como trabalho futuro, sugere-se desenvolver ferramentas que atendam a esse objetivo. Adicionalmente, o direcionamento estabelecido no planejamento do projeto deve garantir que essas ferramentas sejam utilizadas,

assim como deve prever quais os critérios ambientais devem ser avaliados nos *gates* de cada fase.

Quanto às limitações deste trabalho, sabe-se que a questão ambiental está dentro do contexto mais amplo da sustentabilidade, que inclui, além do respeito ao meio ambiente, também a responsabilidade social e o lucro financeiro. Esse conceito é conhecido como *triple-bottom-line* e prevê pesos iguais para estabilidade econômica, compatibilidade ecológica e equilíbrio social. Uma sugestão para trabalho futuro seria ampliar o escopo dessa proposta, incluindo os aspectos sociais e financeiros.

Além disso, ressalta-se que o estudo de caso foi realizado em apenas uma empresa e em apenas um tipo de projeto (plataforma), o que impossibilita generalizações. Além disso, a interpretação qualitativa das entrevistas envolve um certo grau de subjetividade. Para uma consolidação mais profunda do conhecimento gerado por esse trabalho, pode-se replicar o estudo de caso para outras companhias e outros tipos de projeto no futuro. O formato e as ferramentas a serem aplicadas no *Ecodesign* depende da companhia, cultura, produtos e mercado. Por isso, é importante avaliar em outras empresas e em outros tipos de projetos se as propostas levantadas nesse estudo também se aplicam.

Sabe-se que um grande desafio é considerar as questões ambientais logo nos estágios iniciais do desenvolvimento do produto, onde há maiores possibilidades de ganho ambiental, mas poucas informações ambientais disponíveis. Para resolver esse desafio, o modelo proposto nesse trabalho contruibui ao considerar o aproveitamento das informações da ACV no pós desenvolvimento de um produto para retroalimentar o PDP na macrofase de pré desenvolvimento, orientando a identificação de oportunidades de novos produtos. Desta forma, quanto mais

produtos forem desenvolvidos de acordo com o *Ecodesign*, mais informações serão geradas para os próximos desenvolvimentos e mais oportunidades ambientais poderão ser identificadas.

Por fim, conclui-se que um fator determinante para a melhora ambiental efetiva de um projeto é o direcionamento estratégico inicial. As considerações ambientais devem ser mais um importante aspecto para o direcionamento da empresa, inclusive como um orientador da estratégia tecnológica.

É fundamental que a estratégia da empresa inclua a questão ambiental. Senão, os critérios ambientais não serão incluídos no planejamento do projeto e como consequência, o *Ecodesign* não será executado. A aplicação da ACV no processo de desenvolvimento de produtos depende, em última instância, do direcionamento estabelecido pela companhia. Por isso, o apoio da alta gerência é extremamente importante para que cada vez mais seja decidido incluir critérios ambientais dentro do desenvolvimento dos produtos. A alta gerência deve criar uma estratégia ambiental que predetermina a maneira que os novos produtos devem ser desenvolvidos buscando a redução dos impactos ambientais e de custos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS¹

- ANDRADE, R. O. B.; TACHIZAWA, T.; CARVALHO, A. B. **Gestão ambiental: enfoque estratégico aplicado ao desenvolvimento sustentável**. 2. ed. São Paulo: Makron Books, 2002. 232 p.
- ANDRIANKAJA, H.; BERTOLUCI, G.; MILLET, D. Development and integration of a simplified environmental assessment tool based on an environmental categorization per range of products. **Journal of Engineering Design**, Abingdon, v. 24, n. 1, p. 1-24, 2013.
- ASIMOV, M. **Introduction to design: fundamentals of engineering design**. New Jersey, Prentice Hall, 1962.
- ALLENBY, B. R. *Desing for Environment: Implementing Industrial Ecology*. 1992. Thesis (Doctorate of Philosophy) – Rutgers University, New Brunswick, NJ, 1992.
- ALTING, L.; HAUSCHILD, M.; WENZEL, H. Environmental assessment in product development. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, London, v. A 355, p. 1373-1388, 1997.
- BACK, N., OGLIARI, A., DIAS, A., SILVA, J. C. **Projeto Integrado do Produtos: Planejamento, Concepção e Modelagem**. Barueri: Manole, 2008. 601 p.
- BARRETO, R. J., **Incorporação da Avaliação do Ciclo de Vida ao Projeto do Produto**. 2007. 134 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica e de Materiais) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2007.
- BAUMANN, H., BOONS, F., BRAGD, A., Mapping the Green Product Development Field: Engineering, Policy and Business Perspectives. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 10, n. 5. p.409-425, 2002.
- BENNETT, F. B.; GRAEDEL, T. E. Conditioner air: evaluating an environmentally preferable service. **Environmental Science and Technology**, v. 34, n. 4, p. 541-545, 2000.
- BERKHOUT, F.; HOWES, R. The adoption of life-cycle approaches by industry: patterns and impacts. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 20, n. 2, p. 71-94, 1997.
- BHANDER, G. S.; HAUSCHILD, M.; MCALOONE, T. Implementing Life Cycle Assessment in Product Development. **Environmental Progress**, v. 22, n. 4, p. 255-267, 2003.
- BOVEA, M. D.; PÉREZ-BELIZ, V. A taxonomy of ecodesign tools for integrating environmental requirements into the product design process. **Journal of Cleaner Production**, v 20, p. 61-71, 2012.

¹ Esta dissertação foi compilada de acordo com as seguintes normas em vigor no momento de sua edição: Universidade de São Paulo. Sistema Integrado de Bibliotecas da USP. **Diretrizes para apresentação de dissertações e teses da USP: documento eletrônico e impresso Parte I (ABNT)** / Sistema Integrado de Bibliotecas da USP; Vânia Martins Bueno de Oliveira Funaro, coordenadora... [et al.]. - - 2. ed. rev. ampl. - - São Paulo: Sistema Integrado de Bibliotecas da USP, 2009. 102 p. - - (Cadernos de Estudos; 9)

BRANDÃO, M.; HEATH, G.; COOPER, J. What can Meta-Analysis Tell us about the Reliability of Life Cycle Assessment for decision support? **Journal of Industrial Ecology**, v. 16, n. S1, p. S3-S7, 2013.

BREZET, H; VAN HEMEL, C. Ecodesign: A Promising Approach to Sustainable Production and Consumption. Paris: UNEP, 1997.

BRONES, F.; CARVALHO, M. M.; ZANCUL, E. S. Ecodesign in project development: a missing link for the integration of sustainability in product development? **Journal of Cleaner Production**, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.05.088>, 2014.

BROWN, S.; EISENHARDT, K. Product development: past research, present findings and futures directions. **Academy of Management Review**, v. 20, n. 20, p. 343-78, 1995.

CHAPMAN, R.; HYLAND, P. Complexity and learning behaviours in product innovation. **Technovation**, Oxford, v. 24, n. 7, p. 553-561, 2004.

CHARTER, M.; TISCHNER, U. **Green Solutions**: developing products and services for the future. Sherifield: Greenleaf, 2001.469 p.

CLARK, K. B.; FUJIMOTO, T. **Product development performance**: strategy, organization and management in the world auto industry. Boston, MA: Harvard Business School Press, 1991. 409 p.

CLARK, K. B.; WHEELWRIGHT, S. C. **Managing new product and process development**: text and cases. New York: Free Press, 1993. 896 p.

CLARK, T.; CHARTER, M. **Eco-design checklists for Electronics Manufacturers, System Integrators, and Suppliers of Components and Sub-assemblies**. The Centre of Sustainable Design, 1999.

CLAUSING, D. **Total Quality development**: a step-by-step guide to world-class concurrent engineering. 2nd ed. New York: ASME Press, 1994. 506 p.

CLUNE, S.; LOCKREY, S. Developing environmental sustainability strategies, the Double Diamond method of LCA and design thinking: a case study from aged care. **Journal of Cleaner Production**, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.02.003>.

COLTRO, L. **Avaliação do Ciclo de Vida como Instrumento de Gestão**. Campinas: CETEA/ITAL, 2007. 72 p.

COOPER, R. G. **Winning at New Products**: Accelerating the Process from Idea to Launch. 2nd ed. Readin, MA: Perseus Books, 1993. 358 p.

CRAWFORD, M.; BENEDETTO, A. D. **New Products Management**. 8th ed. New York: McGraw-Hill/Irwin, 2006.

DANNEELS, E. The dynamics of product innovation and firm competences. **Strategic Management Journal**, v. 23, n. 12, p. 1095-1121, 2002.

DEUTZ, P.; MCGUIRE, M.; NEIGHBOUR, G. Eco-design practice in the context of a structured design process: an interdisciplinary empirical study of UK manufacturers. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 39, p. 117-128, 2013.

DEVANATHAN, S.; RAMANUJAN, D.; BERNSTEIN, W. Z.; ZHAO, F.; RAMANI, K. Integration of sustainability into early design through the function impact matrix. **Journal of Mechanical Design**, v. 132, n. 8, 081004, 2010.

DVIR, D.; SHENHAR, A. J. Toward a typological theory of project management, **Research Policy**, Amsterdam, v. 25, n. 4, p. 607-632, 1996.

ELICECHE, A. M.; CORVALÁN, S. M.; MARTÍNEZ, P. Environmental life cycle impact as a tool for process optimization of a utility plant. **Computers & Chemical Engineering**, vol. 31, n. 5-6, p. 648-656, 2007.

ERNZER, M.; LINDAHL, M.; MASUI, K.; SAKAO, T. An international study on utilization of design for environment methods (DfE) – a pre study. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ENVIRONMENTALLY CONSCIOUS DESIGN AND INVERSE MANUFACTURING, 3., 2003, Tokyo. **Anais...** Tokyo: Union of EcoDesigners (Association of EcoDesign Societies), 2003. p. 124-131.

FINNVEDEN, G.; HAUSCHILD, M. Z.; EKVALL, T.; GUINEE, J.; HEIJUNGS, R.; HELLWEG, S.; KOEHLER, A.; PENNINGTON, D.; SUH, S. Recent developments in life cycle assessment. **Journal of Environmental Management**, v. 91, n. 1, p. 1-21, 2009.

FIKSEL, J. Design for the Environment: An integrated systems approach. In: IEEE International Symposium on Electronics and the Environment, 1993, Arlington. **Anais...** Arlington: IEEE, 1993. p. 126-131.

FIKSEL, J. **Design for Environment: Creating Eco-efficient Products and Processes**. New York: Mc Graw-Hill, 1996.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008. 200 p.

GÓNCZ, E.; SKIRKE, U.; KLEIZEN, H.; BARBER, M. Increasing the rate of sustainable change: a call for a redefinition of the concept and the model for its implementation. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 15, n. 6, p. 525-537, 2007.

GRAEDEL, T. E.; ALLENBY, B. R. **Design for Environment**. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1995. 412 p.

GUELERE, A. F. **Integração do Ecodesign ao Modelo Unificado para a gestão do Processo de Desenvolvimento de Produtos**: Estudo de caso em uma grande empresa de linha branca. 2009. 243 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

GUINÉE, J. B.; HEIJUNGS, R.; HUPPES, G. R.; 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.

GURGEL, F. A. **Administração do Produto**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2007. 537 p.

HAROLD M. P.; OGUNNAIKE, B. A. Process Engineering in the evolving chemical industry. **American Institute of Chemical Engineers Journal**, v. 46, n. 11, p. 2123-2127, 2000.

HAUSCHILD, M.; JESWIET, J.; ALTING, L. Design for environment – do we get the focus right? **CIRP Annals – Manufacturing Technology**, Paris, v. 53, n. 1, p. 1-4, 2004.

HAUSCHILD, M.; JESWIET, J.; ALTING, L. From life cycle assessment to sustainable production: Status and perspectives. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, Paris, v. 54, n. 2, p. 535-555, 2005.

HETHERNGTON, A. C.; BORRION, A. L.; GRIFFITHS, O. G.; MCMANUS, M. C. Use of LCA as a development tool within early research: challenges and issues across different sectors. **International Journal of Life Cycle Assessment**, Landsberg, v. 19, p. 130-143, 2014.

HILL, B. Industry's integration on environmental product design. In: IEEE International Symposium on Electronics and the Environment, 1993, Arlington. **Anais...** Arlington: IEEE, 1993.

HOCHSCHORNER, E.; FINNVEDEN, G. Evaluation of two simplified Life Cycle Assessment Methods. **International Journal of Life Cycle Assessment**, Landsberg, v. 8, n. 3, p. 119-128, 2003.

HUNKELER, D.; VANAKARI, E. EcoDesign and LCA: Survey of current uses of Environmental Attributes in Product and Process Development. **International Journal of Life Cycle Assessment**, Landsberg, v. 5, n. 3., p. 145-151, 2000.

HUR, T.; LEE, J.; RYU, J.; KWON, U. Simplified LC and matrix methods in identifying the environmental aspects of a product system. **Journal of Environmental Management**, v. 75, n. 3, p. 229-237, 2005.

ISO 14040. Environmental management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework. International Organization of Standardization, Geneva, Switzerland. 1997.

ISO 14044. Environmental management – life cycle assessment – Requirements and Guidelines. International Organization of Standardization, Geneva, Switzerland. 2006.

ISO 14062. Environmental management – Integrating environmental aspects into product design and development. International Organization of Standardization, Geneva, Switzerland. 2002.

JACQUEMIN, L.; PONTALIER, P. Y.; SABLAYROLLES, C. Life Cycle Assessment (LCA) applied to the process industry: a review. **International Journal of Life Cycle Assessment**, Landsberg, v. 17, n. 8, p. 1028-1041, 2012.

JOHANSSON, G. Success factors for integration of ecodesign in product development. A review of state of the art. **Environmental Management and Health**, Wagon Lane, v. 13, n. 1, p. 98-107, 2002.

JOINT RESEARCH CENTRE, INSTITUTE FOR ENVIRONMENT AND SUSTAINABILITY. **ILCD Handbook**: General guide for Life Cycle Assessment - Detailed guidance. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2010. 394 p.

KARLSSON, R.; LUTTROPP, C. Ecodesign: what's happening? **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 14, n. 15/16, p. 1291-1298, 2006.

KEOLEIAN, G. A. The application of life cycle assessment to design. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 1, n. 3-4, p. 143-149, 1993.

KERZNER, H. **Project management**: a systems approach to planning, scheduling and controlling. 8th ed. Hoboken: Wiley Publishing, 2003. 891 p.

KIRON, D.; KRUSCHWITZ, N.; HAANAES, K.; REEVES, M.; GOH, E.; The Innovation Bottom Line. **MIT Sloan Management Review**, Cambridge, v. 54, n. 2, p. 69-73, 2013.

KLÖPPFER, W. Life-Cycle based Methods for sustainable product development. **International Journal of Life Cycle Assessment**, Landsberg, v. 8, n. 3, p. 157-159, 2003.

KOTLER, P.; KARTAJAYA, H.; SETIAWAN, I. **Marketing 3.0: as forças que estão definindo o novo marketing centrado no ser humano**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

KOTLER, P.; KELLER, K. L. **Administração de Marketing**. 12. ed. São Paulo: Pearson Education, 2006. 776 p.

KUSIAK, A. **Concurrent engineering**: automation, tools and techniques. New York: John Wiley & Sons, 1993. 589 p.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 3. ed. rev. e ampl. São Paulo: Atlas, 1993. 243 p.

LE POCHAT, S.; BERTOLUCI, G.; FROELICH, D. Integrating Ecodesign by conducting changes in SMEs. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 15, n. 7, p. 671-680, 2007.

LEITE, D. M.; FILHO, J. R. F. Alinhando Projetos à estratégia de negócios. In: CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO: GESTÃO DO CONHECIMENTO PARA A SUSTENTABILIDADE, 5., 2009, Niterói. **Anais...** Niterói: CNEG, 2009. p. 1-23.

LEMOS, H. M. **Mudanças na mentalidade ambiental das empresas**. São Paulo: Gazeta Mercantil, 2000.

LEWIS, H.; GERTSAKIS, J.; GRANT, T.; MORELLI, N.; SWEATMAN, A. **Design + Environment: a Global Guide to Designing Greener Goods**. Sheffield: Greenleaf, 2001. 200 p.

LIN, J.; CHAI, H. C.; WONG, Y. S.; BROMBACHER, A. C. A Dynaminc Model for Managing Overlapped Iterative Product Development, **European Journal of Operational Research**, v. 185, n. 1, p. 378-392, 2006.

LUTTROP, C.; LAGERSTEDT, J. Ecodesign and the ten golden rules: generic advice for merging environmental aspects into product development. **Journal of Cleaner Production**, v. 14, n. 15/16, p. 1396-1408, 2006.

LYON, T. P.; MAXWELL, J. W. Greenwashing: corporate environmental disclosure under threat of audit. **Journal of Economics and Management Strategy**, v. 20, p. 3-41, 2011.

MASUI, K.; SAKAO, T.; INABA, A. Quality Function Deployment for Environment: QFDE (1st Report) – A Methodology in Early Stage of DfE. **IEEE**, 2001.

MEDEIROS, J.; RIBEIRO, J. L. D.; CORTIMIGLIA, M. N. Success factors for environmentally sustainable product innovation: a systematic literature review. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 65, p. 76-86, 2014.

MILLET, D.; BISTAGNINO, L.; LANZAVECCHIA, C.; CAMOUS, R.; POLDMA, T. Does the potential of the use of LCA match the design team needs? **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 15, p. 335-346, 2007.

MILOSEVIC, D. Z.; SRIVANNABOON, S. A two-way influence between business strategy and project management. **International Journal of Project Management**, v. 24, n. 6. p. 493-505, 2006.

MUELLER, K. G.; BESANT, C. B. Streamlining life cycle analysis: a method. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ENVIRONMENTALLY CONSCIOUS DESIGN AND INVERSE MANUFACTURING, 1., 1999, Tokyo. **Anais...** Tokyo: Union of EcoDesigners (Association of EcoDesign Societies), 1999. p. 114-119.

MURTO, P.; PERSON, O.; AHOLA, M. Shaping the face of environmentally sustainable products: image boards and early consumer involvement in ship interior design. **Journal of Cleaner Production**, v. 75, p. 86-95, 2014.

NARIMATSU, A.; PUGLIERI, F.; RANGEL, F. E. F.; OMETTO, A. R.; SILVA, D. A. L. Eco Reach Essencial Johnson&Johnson[®] toothbrush: an LCA study case application to analyze different materials in handle design. In: CIRP International Conference on Life Cycle Engineering, 2013, Singapore. **Proceedings...** Singapore: Springer Singapore, 2013. DOI: 10.1007/978-981-4451-48-2_89.

NIELSEN, P. H.; WENZEL, H. Integration of environmental aspects in product development: a stepwise procedure based on quantitative life cycle assessment. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 10, n. 3, p. 247-257, 2002.

OLIVEIRA, M. G. **Integração do technology roadmapping (TRM) e da gestão de portfólio para apoiar a macrofase de pré-desenvolvimento do PDP**: estudo de caso em uma pequena empresa de base tecnológica. 2009. 138 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

OKRASINSKI, T.; MALIAN, J.; ARNOLD, J. Data Assessment and Collection for Simplified LCA Tool. In: CARBON MANAGEMENT TECHNOLOGY CONFERENCE, 2012, Orlando. **Proceedings...** Orlando: CMTC, 2012. DOI: 10.7122/151108-MS.

PAHL, G.; BEITZ, W. **Konstruktionslehre**. Berlin: Springer Verlag, 1977.

PAHL, G., BEITZ, W. **Engineering design**: a systematic approach. 2nd ed. Berlin: Springer-Verlag, 1996.

PIGOSSO, D. C. A. **Integração de métodos e ferramentas de ecodesign ao processo de desenvolvimento de produtos**. Universidade de São Paulo – Trabalho de conclusão de Curso. São Carlos. 2008.

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, p. 160-173, 2013.

POUDELET, V.; CHAYER, J. A.; MARGNI, M.; PELLERIN, R.; SAMSON, R. A process-based approach to operationalize life cycle assessment through the development of an eco-design decision-support system. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 33, p. 192-201, 2012.

PRASAD, B. **Concurrent engineering fundamentals**: integrated product and process organization. New Jersey: Prentice Hall, 1996. 478 p.

PUGH, S. **Total design**: integrated methods for successful product engineering. Boston: Addison Wesley, 1991.

RAINEY, D. L. **Product Innovation**: leading change through integrated product development. New York: Cambridge University Press, 2005.

ROZENFELD, H. et al. **Gestão de desenvolvimento de produtos**: uma referência para a melhoria do processo. São Paulo: Saraiva, 2006. 542 p.

RUSSO, D.; RIZZI, C. Structural optimization strategies to design green products. **Computers in Industry**, v. 65, p. 470-479, 2014.

SHENHAR, A. J. One size does not fit all projects: exploring classical contingency domains. **Management Sciences**, v. 47, n. 3, p. 394-414, 2001.

SHENHAR, A. J.; DVIR, D. **Reinventing project management**: the diamond approach to successful growth and innovation. Boston: Harvard Business School Press, 2007. 276 p.

SILVA, E.L.; MENEZES, E.M. **Metodologia de pesquisa e elaboração de dissertação**. 4. ed. Florianópolis: UFSC, 2005. Disponível em:

<http://www.convibra.com.br/upload/paper/adm/adm_3439.pdf>. Acesso em: 09 set. 2013.

SILVA, S.; ROZENFELD, H. Model for mapping knowledge management in product development: a case study at truck and bus manufacturer. **International Journal of Automotive Technology and Management**, Switzerland, v. 7, n. 2/3, p. 216-234, 2007.

SOCIETY OF ENVIRONMENTAL TOXICOLOGY AND CHEMISTRY. **Streamlined life-cycle assessment**: a final report from the SETAC North America LCA Workgroup. Pensacola: Society of Environmental Toxicology and Chemistry and SETAC Foundation for Environmental Education, 1999.

SOUSA, I.; WALLACE, D. Product classification to support approximate life-cycle assessment of design concepts. **Technological Forecasting & Social Change**, v. 73, n. 3, p. 228-249, 2006.

STEVELS, A. Integration of Ecodesign into business, a new challenge. In: ENVIRONMENTALLY CONSCIOUS DESIGN AND INVERSE MANUFACTURING SYMPOSIUM, 1., 1999, Los Alamitos. **Anais...** Los Alamitos: IEEE Computer Society, 1999. p. 27-35.

TEEHAN, P.; KANDLIKAR, M. Source of Variation in Life Cycle Assessments of Desktop Computers. **Journal of Industrial Ecology**, v. 16, n. S1, p. S182-S194, 2013.

TINGSTRÖM, J.; SWANSTRÖM, L., KARLSSON, R. Sustainability management in product development project – the ABB experience. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 14, n. 15/16, p. 1377-1385, 2006.

TINGSTRÖM, J.; KARLSSON, R. The relationship between environmental analyses and the dialogue process in the product development. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 14, n. 15/16, p. 1409-1419, 2006.

ULLMAN, D. G. **The mechanical design process**. New York: McGraw-Hill, 1992.

ULRICH, K.; EPPINGER, S. D. **Product Design and Development**. United States, Massachusetts: Mc Graw Hill, 1995.

VEZZOLI, C.; SCIAMA, D. Life Cycle Design: from general methods to product type specific guidelines and checklists: a method adopted to develop a set of guidelines/checklist handbook for the eco-efficient design of NECTA vending machines. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 14, n. 15-16, p. 1319-1325, 2006.

WANG, M. H.; JOHNSTON, M. R.; DUTTA, S. Design for the Environment: An imperative concept in concurrent engineering. **CE & CALS**, Washington, 1993.

WIMMER, W.; LEE, K. M.; QUELLA, F.; POLAK, J. Ecodesign: the Competitive Advantage: Springer, 2010.

YARWOOD, J. M.; EAGAN, P. D. Design for the Environment – Toolkit. **Minnesota Office of Environmental Assistance**. Minnesota, p. 72. 1998.

YOUNG, P.; BYRNE, G.; COTTERELL, M. Manufacturing and the environment. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 13, n. 7, p. 488-493, 1997.

YEN, Y. K.; YEN, S. Y. Top Management's role in adopting green purchasing standards in high-tech industrial firms. **Journal of Business Research**, v. 65, n. 7, p. 951-959, 2012.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005. 212 p.

ZAMAGNI, A.; MASONI, P.; BUTTOL, P.; RAGGI, A.; BUONAMICI, R. Finding Life Cycle Assessment Research Direction with the Aid of Meta-Analysis. **Journal of Industrial Ecology**, v. 16, n. S1, p. S39-S52, 2013.

ZUMSTEG, J. M.; COOPER, J. S.; NOON, M. S. Systematic Review Checklist. A Standardized Technique for Assessing and Reporting Reviews of Life Cycle Assessment Data. **Journal of Industrial Ecology**, v. 16, n. S1, p. S12-S21, 2013.

APÊNDICE A - Roteiro para a segunda parte do estudo de caso

- 1) Como o PDP da empresa é estruturado?
- 2) Como o PDP da empresa é executado?
- 3) Há diferença entre o PDP estruturado e executado na empresa?
- 4) Quem está envolvido no PDP?
- 5) Quem esteve envolvido no projeto específico objeto desse estudo de caso?
- 6) Qual era o objetivo do projeto?
- 7) Como foi escolhida a melhor solução para o projeto?
- 8) Como o projeto foi executado? Quais seus maiores desafios?
- 9) Em que momentos e como foram tomadas as decisões baseadas na ACV?
- 10) Quais os ganhos ambientais ambientais obtidos no projeto?

APÊNDICE B - Roteiro para a terceira parte do estudo de caso

- 1) Mostrar e explicar a proposta de aplicação da ACV ao desenvolvimento de produtos da empresa (Figura 27)
- 2) Mostrar e explicar o desenvolvimento de um novo produto aplicando a ACV (seção 5.1)
- 3) Questionário:
 - a. Como essa proposta pode ser aplicada de forma sistemática no PDP da empresa?
 - b. O que deve ser adaptado?
 - c. Quais as dificuldades e necessidades para incluir o critério ambiental no PDP?
 - d. Em quais etapas do PDP a execução da ACV deve ser incluída?
 - e. Como a inclusão do critério ambiental em um projeto impacta os demais critérios do PDP (custo, tempo de desenvolvimento, riscos, qualidade...)?