



**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**  
**CAMPUS CURITIBA**  
**DEPARTAMENTO DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA E DE**  
**MATERIAIS - PPGEM**  
**VITOR MIRANDA DE SOUZA**

**DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA PARA AVALIAÇÃO DE PROJETO DE**  
**PRODUTO COM FIM DE VIDA SUSTENTÁVEL BASEADA EM MODELO *STAGE-***  
***GATE* APERFEIÇOADO COM ABORDAGEM *SET-BASED***

**Curitiba**  
**2012**

---

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

---

S729 Souza, Vitor Miranda de  
Desenvolvimento de ferramenta para avaliação de projeto de produto com fim de vida sustentável baseada em modelo *stage-gate* aperfeiçoado com abordagem *set-based* / Vitor Miranda de Souza. — 2012.  
113 f. : il. ; 30 cm

Orientador: Milton Borsato.  
Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Curitiba, 2012.  
Bibliografia: f. 94-97.

1. Produtos novos. 2. Ciclo de vida do produto – Avaliação. 3. Desenvolvimento sustentável. 4. Projeto de produto – Aspectos ambientais. 5. Inovações tecnológicas. 6. Software – desenvolvimento. 7. Engenharia mecânica – Dissertações. I. Borsato, Milton, orient. II. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais. III. Título.

CDD (22. ed.) 620.1

---

Biblioteca Central da UTFPR, Campus Curitiba

**VITOR MIRANDA DE SOUZA**

**DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA PARA AVALIAÇÃO DE PROJETO DE  
PRODUTO COM FIM DE VIDA SUSTENTÁVEL BASEADA EM MODELO *STAGE-  
GATE* APERFEIÇOADO COM ABORDAGEM *SET-BASED***

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia.

Orientador: Prof. Dr. Milton Borsato

Curitiba

2012

Ao meu pai, que sempre me apoiou nos estudos da engenharia; à minha mãe, por me incentivar a ingressar no mestrado e à minha querida avó (*in memoriam*), que decidiu embarcar em outra jornada em abril de 2011.

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer ao meu grande amigo Vagner Andrade, por ter me colocado no caminho do mestrado. Se não fosse por seu apoio, eu nunca teria conseguido, ao meu orientador Milton Borsato por sempre estar ao meu alcance quando precisei e ter me apoiado quando decidi inserir mudanças no tema da minha dissertação, aos Professores Carlos Cziulik por ter me auxiliado na programação em VBA e outros auxílios e à Professora Cassia Ugaya, por ter me conduzido através da estrada da análise do Ciclo de Vida. À Professora Maristela do CALEM, por ter me ajudado com a tradução do resumo para o Inglês, à Graça, por ter me ajudado com os trâmites envolvidos nos processos acadêmicos, ao DAMAT por ter me acolhido através da bolsa PAE, ao programa de auxílio ao estudo **Demanda social – CAPES**, ao pessoal do PPGEM, ao Prof. Giuseppe Pintaúde, ao Massimiliano Balestreri por ter acreditado em meu potencial de trabalho e me proporcionado a melhor fase profissional da minha carreira industrial e a minha querida namorada Paula por me apoiar em minhas escolhas.

“Heal the world, make it a better place. For you and for me and the entire human race.” (Michael Jackson)

## RESUMO

Existem diversas formas de se conduzir um Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP), todas com o mesmo objetivo: organizar as atividades e o fluxo de informação. Complementarmente, o desafio em desenvolver produtos sustentáveis é cada vez maior, à medida em que os recursos naturais vão se esgotando. Neste contexto, surge a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), um método que visa mapear todas as etapas que envolvem um produto, desde a fabricação até o fim de vida ou descarte. Contudo, muitos produtos ainda não são projetados para permitir reaproveitamento. Este trabalho buscou uma alternativa para a avaliação de um PDP a partir do modelo *Stage-gate*, utilizando-se a abordagem da Toyota chamada *Set-based* (desenvolvimento de um conjunto de alternativas), na busca de se obter um produto mais sustentável, com a adoção de mais de sessenta estratégias de fim de vida, distribuídas ao longo de cinco estágios de desenvolvimento. O resultado culminou na elaboração de uma ferramenta-protótipo a ser utilizada por projetistas. Um desenvolvimento hipotético foi conduzido para a verificação da utilidade desta ferramenta e, ao final do processo, uma ACV foi realizada como forma de verificar a eficiência da ferramenta em atingir o objetivo inicial, estabelecendo-se uma comparação entre um banco existente e as alternativas resultantes do desenvolvimento utilizando a ferramenta, onde pode-se verificar uma melhor performance ambiental principalmente com relação ao destino final dos componentes. Algumas melhorias na utilização do SimaPRO e na melhoria da sistemática proposta também estão apontadas nas conclusões.

Palavras-chave: *Stage-gate*; *Set-based*; Fim de vida sustentável.

## **ABSTRACT**

There are several methods to manage a Product Development Process, all with the same purpose: to organize the activities and information flow. Among these methods, Stage-Gate appears to be one of the most adopted. In the other hand, the challenge to develop sustainable products grows bigger as resources grow smaller and Lifecycle Assessment arises to evaluate all phases of a product, from manufacture to disposal. Many products nevertheless are designed without consider its posterior reuse. This research has aimed at a way to evaluate environmental impact of a product's end-of-life during a PDP, using a Stage-gate model improved with the insertion of Toyota's Set-based approach and more than sixty end-of-life strategies, distributed over development stages. The result was the preliminary prototype of a tool, to be used by product designers. A case study was carried out to test the effectiveness of the proposed tool where, in the end of the development process, a Lifecycle Assessment is performed to an actual seat and the resulting seat alternatives. It was possible to verify improvements in the environmental performance mainly in product's end-of-life destination, which was the target of this research. Also, improvements are highlighted concerning SimaPRO's interface and the tool itself.

**Keywords:** *Stage-gate*; *Set-based*; Sustainable End-of-life.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Carros de passeio sucateados na Europa (em milhões de unidades). <sup>1</sup> .....	16
Figura 2 – As três dimensões da sustentabilidade .....	21
Figura 3 – lista de prioridades para os tipos de recuperação de produtos. ....	28
Figura 4 – diagrama de ciclo de vida de uma operação na máquina de café.....	31
Figura 5 - Tela principal do SimaPRO. ....	34
Figura 6 - Árvore de fluxo de material gerada no SimaPRO. ....	34
Figura 7 – Modelo de desenvolvimento <i>Stage-gate</i> . ....	37
Figura 8 – Modelo de desenvolvimento <i>Stage-gate</i> representando os estágios e os <i>gates</i> .....	41
Figura 9 – Diagrama modelo <i>point-based</i> (ponto a ponto). ....	43
Figura 10 – Esquema de funcionamento da abordagem <i>Set-based</i> (baseada em conjunto de alternativas). Fonte: Ward et al. (1995).....	44
Figura 11 – Relação entre os assuntos pesquisados e os resultados esperados. ....	52
Figura 12 – Sistema de gate-review para uma e para n alternativas.....	53
Figura 13 – Diagrama de intercâmbio de sistemas entre diferentes soluções. ....	54
Figura 14 – Fluxograma de locação, classificação e pontuação das estratégias de fim de vida. ....	57
Figura 15 - Fluxograma de sequência de atividades para aplicação da ferramenta. ....	60
Figura 16 – Quadro para preenchimento das matérias-primas utilizadas para cada alternativa. ....	62
Figura 17 – a) Banco do Motorista instalado no veículo e b) visual frontal do banco. ....	64
Figura 18 – Novo modelo <i>Stage-gate</i> com a filosofia <i>Set-based</i> incorporada. ....	69
Figura 19 – Tela inicial da ferramenta para a inserção das especificações particulares e escolha do nível de sustentabilidade.....	74
Figura 20 - <i>Gate</i> 1: especificações dependentes.....	75
Figura 21 - Seleção do nível de sustentabilidade e número de alternativas. ....	75
Figura 22 – Aba para inserção dos valores encontrados para uma alternativa analisada no <i>Gate</i> 1. ....	76
Figura 23 – Aba “Síntese” que classifica as alternativas conforme a pontuação. ....	77
Figura 24 - Local para inserção do resultado do <i>Eco-indicator</i> / Matéria-prima. ....	78
Figura 25 – Síntese da avaliação para as dez alternativas desenvolvidas no Estágio 1.....	79

Figura 26 – Extrato da Tabela preenchida com as especificações do <i>Gate 2</i> .....	80
Figura 27 – Resultado do <i>Gate-review #2</i> .....	81
Figura 28 - Especificações dependentes do Segundo Estágio - <i>Gate 3</i> .....	82
Figura 29 - Resultado da Sítese para avaliação no Gate 3.....	82
Figura 30 – Especificações dependentes preenchidas para o Terceiro Estágio - <i>Gate 4</i> .....	83
Figura 31 – Gráfico com os resultados consolidados no SimaPRO. ....	84
Figura 32 – Tabela Síntese para as duas alternativas desenvolvidas no Quarto Estágio – <i>Gate 5</i> .....	85

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Quantidade de material em um veículo – em %.....	23
Tabela 2 – Fases de utilização do método <i>Eco-indicator</i> durante as fases de projeto.....	30
Tabela 3 - Cálculos ECO-Indicator para exemplo da máquina de café.....	32
Tabela 4 – Fases do modelo <i>Stage-gate</i> adaptado pela ABB.....	46
Tabela 5 – Entregas, pacotes e atividades necessárias para a finalização da pesquisa.....	49
Tabela 6 – <i>Strings</i> de Pesquisa.....	51
Tabela 7 - Escopo da pesquisa.....	52
Tabela 8 – Pontuação máxima por estágio e <i>gate-review</i> .....	59
Tabela 9 – Lista de subsistemas do banco a ser estudado. ....	64
Tabela 10 - Resultados para as especificações de fim de vida do banco atual e objetivos. ....	65
Tabela 11 - Síntese dos resultados do SimaPRO.....	84
Tabela 12 – Objetivos definidos x Entregas realizadas.....	91
Tabela 13 – Especificações Independentes e Pontuação atribuída. ....	99
Tabela 14 – Especificações Independentes e Pontuação atribuída. ....	100
Tabela 15 - Especificações Independentes, métricas de sustentabilidade e pontuação. ....	100
Tabela 16 - Especificações Independentes, métricas de sustentabilidade e pontuação. ....	101
Tabela 17 - Especificações Independentes, métricas de sustentabilidade e pontuação. ....	102
Tabela 18 - Especificações Independentes, métricas de sustentabilidade e pontuação. ....	103
Tabela 19 – Valores do <i>Eco-indicator</i> para processos de produção de metais (em milipontos por kg).....	113
Tabela 20 – Valores para processamento de metais (em milipontos). ....	113
Tabela 21 - Processamento de plástico granulado (em milipontos por kg). ....	114
Tabela 22 - Processamento de plásticos (em milipontos por kg). ....	114
Tabela 23 – Produção de materiais de embalagem (em milipontos por kg).....	115
Tabela 24 - Produção de outros materiais (em milipontos por kg) .....	115
Tabela 25 - Produção de energia (em milipontos).....	115
Tabela 26 - Transporte (em milipontos por tkm) .....	115
Tabela 27 – Reciclagem de Resíduos (em milipontos por kg) .....	116
Tabela 28 – Tratamento de resíduos (em milipontos por kg) .....	116

## LISTA DE ABREVIACOES

ACV – Avaliação de Ciclo de Vida

DfE – *Design for Environment* (Projeto para o Meio Ambiente)

ELV – *End-of-life Vehicles* (Fim de vida dos veículos)

EoL – *End-of-Life Strategies* (Estratégias de fim de vida)

MP – Matéria-Prima

PBD – *Point-based Design* (Projeto baseado em Desenvolvimento de Alternativa Ponto a Ponto)

PDP – Processo de Desenvolvimento de Produto

PGRS – Programa de Gestão de Resíduos Sólidos

PNRS – Plano Nacional de Resíduos Sólidos

RoHS – *Restriction of Hazardous Substances* (Restrição de Substâncias Perigosas)

SBD – *Set-based Design* (Projeto baseado em Conjunto de Alternativas)

SG – *Stage-gate* (Estágios-portais)

UE – União Européia

WEEE – *Wastes from Electric and Electronic Equipment* (Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrnicos)

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>14</b>
1.1	OBJETIVOS	17
1.1.1	<b>Objetivo Geral</b>	<b>17</b>
1.1.2	<b>Objetivos Específicos</b>	<b>18</b>
1.2	JUSTIFICATIVA	18
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO	19
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>20</b>
2.1	SUSTENTABILIDADE E <i>GREEN ENGINEERING</i>	20
2.1.1	<b>Legislações Ambientais</b>	<b>22</b>
2.1.2	<b>Métodos e Ferramentas para Sustentabilidade</b>	<b>25</b>
2.1.2.1	Ciclo de Vida	25
2.1.2.2	Avaliação do Ciclo de Vida	29
2.2	ORGANIZANDO O PDP: SURGEM OS MODELOS	35
2.3	<i>STAGE-GATE</i>	36
2.3.1	<b>Fases</b>	<b>38</b>
2.4	<i>SET-BASED ENGINEERING</i>	42
2.5	ASSOCIAÇÕES ENTRE SET-BASED, STAGE-GATE E SUSTENTABILIDADE	45
<b>3</b>	<b>ASPECTOS METODOLÓGICOS</b>	<b>48</b>
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA	48
3.2	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	49
3.2.1	<b>Preparação de Modelo</b>	<b>50</b>
3.2.1.1	Geração de Modelo	52
3.2.1.2	Inserção das Premissas de Fim de Vida	55
3.2.2	<b>Protótipo – Desenvolvimento</b>	<b>56</b>
3.2.2.1	Flexibilidade da Ferramenta: Estabelecendo Níveis de Sustentabilidade	<b>Erro!</b>
	<b>Indicador não definido.</b>	
3.2.2.2	Estrutura de Funcionamento da Ferramenta	60
3.2.2.3	Desenvolvimento do conteúdo	61
3.2.3	<b>Funcionamento da Ferramenta-protótipo</b>	<b>63</b>

3.2.3.1	Produto a Ser Estudado: Banco de Automóvel .....	63
3.2.3.2	Definição dos Objetivos Para Métricas de Fim de Vida .....	65
3.2.3.3	Contextualização do PDP de um Novo Banco .....	66
<b>4</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>68</b>
4.1	MODELO RESULTANTE E ESTRUTURA DA FERRAMENTA.....	68
4.2	ALOCAÇÃO DOS CRITÉRIOS ATRAVÉS DAS FASES .....	68
4.3	INÍCIO DO DESENVOLVIMENTO: INSERÇÃO DE VALORES .....	74
4.4	RESULTADOS – DESENVOLVIMENTO DE BANCO DE AUTOMÓVEL .....	78
4.4.1	Geração de Idéias – <i>Gate #1</i> .....	79
4.4.2	Primeiro Estágio – <i>Gate #2</i> .....	80
4.4.3	Segundo Estágio – <i>Gate #3</i> .....	81
4.4.4	Terceiro Estágio – <i>Gate #4</i> .....	83
4.5	ANÁLISE E DISCUSSÃO.....	85
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>91</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>94</b>
	<b>APÊNDICES .....</b>	<b>98</b>
	<b>APÊNDICE A – ESPECIFICAÇÕES DE FIM-DE-VIDA, PONTUAÇÕES E</b>	
	<b>MÉTRICAS.....</b>	<b>99</b>
	<b>APÊNDICE B – RESULTADOS PARA O DESENVOLVIMENTO DAS</b>	
	<b>ALTERNATIVAS BDVS001 A BDVS010 .....</b>	<b>104</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>112</b>
	<b>ANEXO A – TABELAS ECO-INDICATOR (ADAPTADAS DO <i>ECO-INDICATOR 99</i></b>	
	<b><i>MANUAL</i>).....</b>	<b>113</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A chegada do pensamento enxuto (*Lean Thinking*) trazido pelas montadoras japonesas no começo da década de 60 para o mercado automotivo norte-americano, obrigou as concorrentes locais a reduzir desperdícios de maneira a continuarem competitivas. Atualmente, de acordo com o terceiro princípio da teoria do Capitalismo Natural: **o serviço e o fluxo** (HAWKEN; LOVINS; LOVINS, 1999), apenas a redução de desperdício por si só já não é mais o estado da arte em eficiência produtiva, e sim o fornecimento de um serviço, e não de um produto, é o que traz o máximo rendimento. Isto coloca pesquisadores de desenvolvimento de produto em um novo desafio, pois como é possível continuar com práticas que são antagônicas aos princípios de sustentabilidade elaborados para garantir a continuidade da vida no planeta?

Por outro lado, o **cliente**, fonte para entendimento dos requisitos de produto, ainda não deixa de comprar um produto, mesmo que ele esteja associado ao esgotamento dos recursos naturais do planeta. Para um grande número de pessoas, o conceito de felicidade ainda está muito atrelado à sensação de posse (MONT; PLEPYS, 2008), sendo este conceito a força motriz que movimenta a economia mundial. Pode-se então afirmar com relativa segurança que produtos ainda serão desenvolvidos por um longo tempo.

De um ponto de vista, a **sustentabilidade** vem para modificar os padrões de consumo (MONT; PLEPYS, 2008), trazendo diversos questionamentos para uma sociedade que está confortavelmente acostumada ao modelo econômico atual que não engloba danos infringidos ao meio ambiente nas equações econômicas, com um objetivo fundamental: a geração atual deve se responsabilizar e agir para assegurar que os recursos naturais sejam preservados para que a próxima geração possa usufruir deles, e assim por diante. Este princípio vem ganhando força, num momento crítico para a humanidade: 2,8 bilhões de habitantes vivem com menos de U\$ 2,00 por dia (BANCO MUNDIAL, 2001, p. 3). É preciso reagir para garantir a continuidade do planeta e da própria espécie, caso contrário inevitavelmente nossa sociedade entrará em colapso (HEINBERG, 2010).

Diante deste quadro, o maior obstáculo para o reaproveitamento dos produtos é o fato de eles não terem sido projetados para tal (ZWOLINSKI; LOPEZ-ONTIVEROS; BRISSAUD, 2006); reaproveitar um produto requer imenso esforço, pois o Processo de

Desenvolvimento de um Produto (PDP) normalmente é conduzido sem considerar aspectos ambientais.

O PDP vem sendo aprimorado com a crescente disputa entre as empresas fornecedoras de bens de consumo; a competitividade evoluiu a ponto de uma empresa ter que melhorar não apenas processos industriais, mas também processos administrativos, dentre os quais um dos mais determinantes para o desempenho é o de desenvolvimento de produto. O PDP no mundo ocidental sempre foi caracterizado por uma abordagem iterativa (SOBEK II; WARD; LIKER, 1999), na qual um conceito era escolhido logo nos estágios iniciais de desenvolvimento e o resto do processo seria conduzido a partir dele, sofrendo alterações sucessivas até obter-se um produto definitivo que atendesse toda a equipe de projeto e à alta direção. Modelos de gestão PDP foram baseados nesta abordagem, como o *Stage-gate* (SG) e outros.

Os conceitos de PDP vem evoluindo em prol das premissas de sustentabilidade, possibilitando o surgimento de abordagens como o *Product Lifecycle Management* – Gestão do Ciclo de Vida do Produto (PLM), a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) e o projeto para o fim de vida, com o objetivo de inserir durante a fase de projeto de um produto o planejamento para as atividades e os insumos utilizados desde o planejamento até o descarte.

No entanto, estas medidas podem ser consideradas insuficientes, pois uma ACV só pode ser realizada após atingir-se um alto nível de detalhamento do produto, perdendo-se muito em prevenção, pois nesta fase as características do produto e os processos já se encontram definidas (MILLET et al., 2007).

Por isso, utilizar um enfoque de fim de vida sustentável para a definição do conceito irá resultar em um produto que irá ser reaproveitado de diversas maneiras, diferente do que acontece atualmente nos Estados Unidos, onde o fim de vida de automóveis gera de 8 a 10 toneladas de lixo (BOGUE, 2007). Na Figura 1, é possível verificar o aumento da produção de lixo automobilístico na Europa, o que comprova que os modelos atuais de desenvolvimento de produto não estão sendo capazes de desacelerá-la.

Com base neste cenário, a Comunidade Européia decidiu instituir a *End-of-life Vehicles* (ELV), uma diretiva cujo objetivo é reduzir a geração deste lixo. Por conta desta iniciativa, alguns resultados já começam a aparecer. Em 2003, a Renault afirmava que 40% do dinheiro investido em pesquisa e desenvolvimento seria destinado às investigações na área da proteção ambiental (RENAULT, 2003, p. 125). Outras montadoras também já estão reagindo



à evolução destas tendências, porém ainda adotando uma abordagem reativa, tratando dos resíduos que já foram gerados; enquanto os custos operacionais aumentam como reflexo do aumento desta nova preocupação, o mesmo não acontece com os investimentos (GERRARD; KANDLIKAR, 2006).

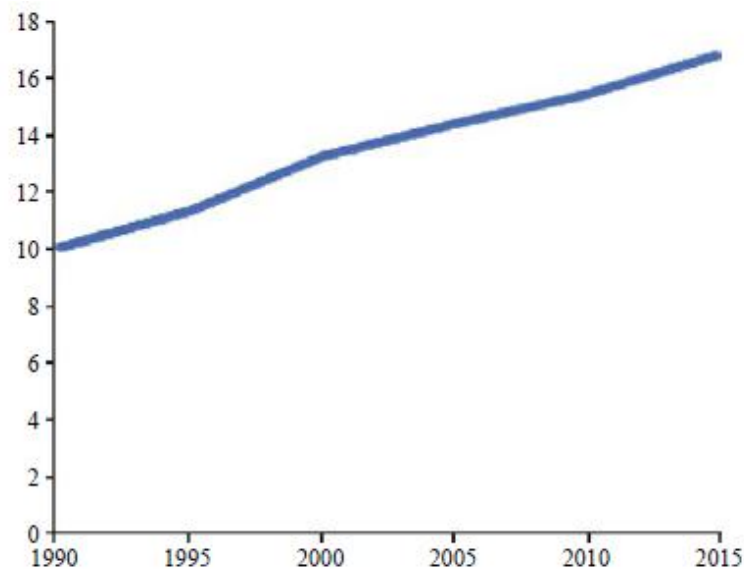


Figura 1 – Carros de passeio sucateados na Europa (em milhões de unidades).<sup>1</sup>  
Fonte: Bogue (2007).

O presente trabalho visa justamente focar nas ações **preventivas** que podem ser tomadas durante a concepção de um produto desde a primeira fase do desenvolvimento, quando é possível obter o maior retorno para uma ação sugerida, apesar das informações relacionadas ao produto ainda serem muito incertas. Para melhorar a tomada de decisões pelos projetistas nas fases iniciais do PDP, surgiu o *Set-based Design* (SBD).

O *Set-based Design* ou *Set-based Engineering* foi trazido para o mundo ocidental por volta de 1995. Trata-se de um formato de desenvolvimento de produto que parte de um conjunto de alternativas e as desenvolve em paralelo, detalhando mais a fundo os conceitos antes de optar por aquele que será industrializado. Uma revisão bibliográfica foi realizada anteriormente pelo autor (SOUZA; BORSATO, 2011), cuja ênfase foi dada as iniciativas envolvendo a abordagem *Set-based*, além de ter sido identificadas pesquisas que associam *Stage-gate* (SG) à sustentabilidade. Neste contexto, foi identificada a oportunidade de se associar os três assuntos; o modelo *Stage-gate*, a abordagem *Set-based* e estratégias de

\* Todas as figuras, tabelas e quadros sem indicação explícita da fonte foram produzidas pelo autor da dissertação.

fim de vida sustentáveis, gerando a seguinte pergunta de pesquisa:

- Como desenvolver um produto utilizando modelo *Stage-gate* em conjunto com a abordagem *Set-based* que não prejudique o meio ambiente no final do ciclo de vida, e de que maneira esse desenvolvimento pode ser conduzido ou auxiliado?

A partir desta pergunta, firmou-se o objetivo deste trabalho, descrito na seção a seguir.

## 1.1 OBJETIVOS

Nesta seção serão descritos o objetivo geral e os desdobramentos, representados pelos objetivos específicos.

### 1.1.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo apresentar o protótipo de uma ferramenta de auxílio ao PDP baseada em um modelo *Stage-gate*® de desenvolvimento de produto, aperfeiçoado por meio da adoção da abordagem SBD. Para imprimir um caráter de sustentabilidade ao produto resultante, estratégias de fim de vida sustentáveis e outras ferramentas são adotadas ao longo do processo, combinadas ao modo de funcionamento do modelo SG. Este objetivo geral pode ser desdobrado nos objetivos específicos descritos na próxima seção.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos (ou entregas) a serem cumpridos para a realização do objetivo geral são:

- a) Preparação de um modelo aperfeiçoado para o PDP a partir de *Stage-gate*;
- b) Definição de uma estrutura de funcionamento para a ferramenta respeitando o modelo proposto;
- c) Desenvolvimento um protótipo da ferramenta;
- d) Demonstração do funcionamento da ferramenta-protótipo por meio de uma exemplificação prática.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

O aperfeiçoamento do modelo SG por meio da adoção da abordagem SBD permite que se introduzam estratégias de fim de vida sustentáveis desde o estágio preliminar de desenvolvimento. A partir do conceito de espaços de projeto que se encontra no pacote de premissas da SBD, é possível estabelecer um diálogo entre projetistas logo nas primeiras discussões no início dos trabalhos e é possível determinar dentro de quais regiões o produto estará definido; assim, o trabalho preventivo que tanto se busca para incorporação efetiva das premissas de sustentabilidade poderá ser executado.

Por meio da inserção de estratégias de fim de vida sustentáveis ao longo do PDP, o produto poderá ser projetado, adquirindo características ambientalmente favoráveis. Elas serão utilizadas dependendo da natureza, tanto como premissas de desenvolvimento quanto itens para verificação do produto, de maneira a garantir as diretrizes de um desenvolvimento sustentável eficiente. Além disso, ferramentas já existentes, baseadas em ACV, também serão utilizadas para realização de contraprova, de que o produto realmente caminhou em uma direção mais sustentável.

A estrutura da ferramenta deverá ser baseada em um modelo, que será baseado no modelo *stage-gate* em combinação com *set-based* e estratégias de fim de vida. Este novo modelo será denominado modelo **aperfeiçoado**, servindo também como exemplo de associação dos assuntos envolvidos.

A verificação das associações propostas por meio de um exemplo é de vital importância para se entender como se dá a dinâmica de um processo de desenvolvimento a partir da utilização do modelo aperfeiçoado com a ferramenta. Será possível qualificar o método e demonstrar a aplicação na prática, validando assim o modelo aperfeiçoado proposto.

### 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta dissertação está dividida da seguinte maneira: o segundo capítulo contém a fundamentação teórica, passando pelos conceitos de sustentabilidade, ferramentas, novas legislações associadas e indicadores de desempenho; os conceitos de Ciclo de Vida são apresentados, bem como as ferramentas existentes para a realização de Avaliação de Ciclo de Vida. O modelo de desenvolvimento de produto *Stage-gate* é revisto e a abordagem *Set-based* é descrita de maneira resumida, com suas principais características sendo visitadas.

A caracterização da pesquisa se encontra no terceiro capítulo, assim como os procedimentos metodológicos utilizados para a construção do método aperfeiçoado e da ferramenta, estruturados de forma a facilitar o entendimento. Neste capítulo também consta uma breve descrição de como o estudo de caso foi construído e desenvolvido.

No quarto capítulo, os resultados do trabalho são apresentados, a partir do funcionamento da ferramenta e em seguida, os resultados do desenvolvimento hipotético conduzido utilizando a ferramenta são mostrados, separados de acordo com os estágios do PDP. Na seção 4.6, todos estes resultados são discutidos.

No quinto capítulo podem ser encontradas as conclusões a respeito da utilização desta ferramenta, bem como as limitações da pesquisa e os trabalhos futuros. Já no sexto capítulo constam as referências bibliográficas e, por último, os apêndices e um anexo estão presentes, para facilitar a compreensão do trabalho.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

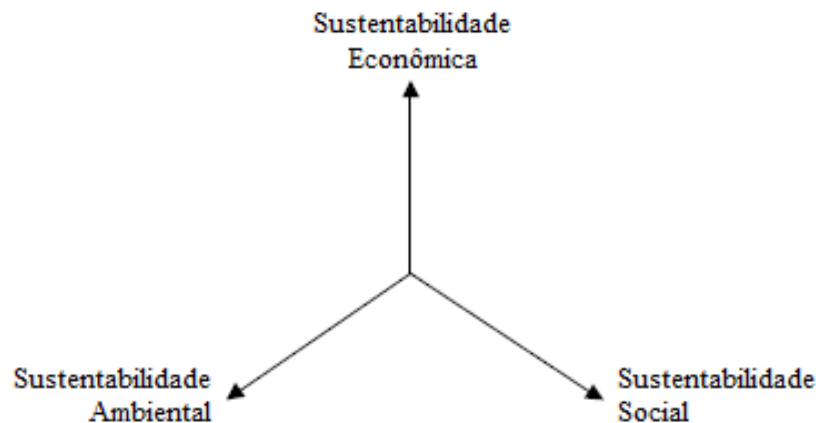
Neste capítulo é apresentado o levantamento bibliográfico realizado para os assuntos deste trabalho, organizados numa sequência progressiva iniciando a partir dos conceitos de sustentabilidade, últimas tendências e desdobramentos do conceito, legislações e métodos de desenvolvimento. A seguir, os conceitos de Ciclo de Vida são apresentados e também as ferramentas para a realização de Avaliação de Ciclo de Vida. Na sequência, é descrita a abordagem *Set-based*, passando então pela revisão do método *Stage-gate* original até a revisão das iniciativas de associação entre SG e sustentabilidade.

### 2.1 SUSTENTABILIDADE E *GREEN ENGINEERING*

Provavelmente o termo mais em voga, **sustentabilidade** trata-se de um conceito ainda em fase de compreensão pela população. Em 1987, o Relatório Brundtland apresenta a primeira definição de desenvolvimento sustentável (NAÇÕES UNIDAS, 1987, p. 51): “desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento que satisfaz as necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades”.

O conceito de sustentabilidade é dividido em três dimensões distintas e interdependentes, de acordo com o conceito de *triple-bottomline* (ou três pilares) definido em Elkington (1997) e ilustrado na Figura 2. Já Barbieri (2007) descreve os três pilares da seguinte maneira:

- a) dimensão social: impactos sociais (e.g. desemprego, exclusão social) relacionados às inovações propostas pelas organizações;
- b) dimensão ambiental: impactos relacionados ao consumo de recursos naturais e preocupação com o esgotamento dos mesmos por conta do uso indiscriminado; e
- c) dimensão econômica: discute a eficiência do sistema econômico que deve ser garantida, caso contrário o sistema econômico mundial entraria em colapso. Em última instância, as empresas ainda funcionam baseadas no lucro; não faz sentido manter uma empresa caso ela não prospere.



**Figura 2 – As três dimensões da sustentabilidade**  
**Fonte: Adaptado de Dillick e Hockerts (2002).**

É possível perceber a crescente pressão exercida pelas entidades engajadas para informar, orientar e até conduzir a população no sentido de escolher produtos e serviços que estejam alinhados com estratégias de preservação ambiental e sustentabilidade. A cada dia cresce o número de companhias que estão adotando esta bandeira, inclusive utilizando-se desta mudança de estratégia como propaganda para os produtos; ser sustentável tornou-se politicamente correto.

De acordo com o bem de consumo que se estuda, a consciência das pessoas a respeito da sustentabilidade apresenta resultados contraditórios, alternando entre crescimento ou estagnação. Gerrard e Kandlikar (2007) colocam que há uma estagnação e até declínio a respeito da consciência sustentável das pessoas quando se trata da escolha por automóveis. Já Young et al. (2010) apresenta alguns estudos realizados na Inglaterra que atestam que, se a informação chega de maneira clara ao consumidor e as oportunidades de se escolher um produto que contribua com o ambiente são evidentes, a tendência é que ele escolha o produto mais ecologicamente correto. À medida que os indicadores de sustentabilidade se tornam mais familiares para as pessoas – ao passo que elas mesmas tornam-se cada vez mais instruídas – a sustentabilidade mostra forças de se tornar uma tendência irreversível.

Buscando atuar mais diretamente sobre o consumidor, Mont e Plepys (2008) sugerem que haja ações conjuntas envolvendo Organizações Não-Governamentais (ONGs), companhias e governos para melhorar ainda mais os índices de consumo sustentável. Segundo eles, faltam iniciativas que desafiem os paradigmas de consumo (dentre os quais o maior deles é o de acúmulo de bens), sobre os quais a economia mundial está formatada.

Um indicador que mede o comportamento dos consumidores frente às novas tendências de sustentabilidade é o chamado *willingness to pay*; em português, a “disposição para pagar” por algo. Por exemplo, estudos estão sendo conduzidos para determinar o quanto os cidadãos de uma determinada região estão dispostos a pagar para que ela se desenvolva de maneira sustentável. Visintin (2004) através da utilização de um modelo matemático, avaliou a região de Brda na Eslovênia e o valor que os residentes se dispõem a pagar para que a região se desenvolva de maneira sustentável é de € 239,00/ano. Já Verbic e Slabe-Erker (2009), utilizando outro modelo matemático mais complexo, chegaram ao valor de € 21,00/ano, por residente.

### **2.1.1 Legislações Ambientais**

Nesta seção, serão resumidas as principais iniciativas mundiais e brasileiras em busca de se estabelecerem leis a partir de princípios ambientais, forçando a sociedade e as indústrias a praticarem a preservação de recursos. Entre todas, destacam-se a ELV, e no Brasil o PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos.

Com o objetivo de diminuir a quantidade de resíduos gerados pela indústria automotiva, foi ratificada em setembro de 2000 pela Comunidade Européia a Diretiva ELV (*end-of-life vehicles* – fim de vida de veículos), contemplando duas metas principais: evitar o lixo proveniente do fim de vida de um veículo e proteger o meio ambiente através do incentivo à coleta, reuso e reciclagem, valendo em todo o território coberto pela União Européia (COMUNIDADE EUROPEIA, 2000, p. 5). A ELV institui que a quantidade de lixo gerada deve ser reduzida “o quanto possível” e estabelece que as duas prioridades para o destino de materiais em fim de vida sejam preferencialmente o reuso e a reciclagem. A diretiva determina que os Estados Membros da UE:

1. [...] devem encorajar, em particular:
  - (a) fabricantes de veículos[...] a reduzir o uso de substâncias perigosas[...] desde a concepção de veículos em diante[...];
  - (b) o projeto e a fabricação de novos veículos que levem em total consideração e facilitem a desmontagem, reuso e recuperação – especialmente a reciclagem – do fim de vida dos veículos, seus componentes e materiais;

(c) fabricantes de veículos, em ligação com fabricantes de matérias-primas e equipamentos, a integrar um aumento na quantidade de materiais recicláveis em veículos e outros produtos[...];

2. (a) [...] devem garantir que materiais e componentes de veículos comercializados após 1 de Julho de 2003 não contenham Chumbo, Mercúrio, Cádmio ou Cromo-6[...] (COMUNIDADE EUROPEIA, 2000, p. 6)

A ELV também obriga que os Estados-membros garantam que as informações sobre o desmantelamento de um veículo estejam disponíveis no máximo até seis meses após a data de lançamento, sem prejudicar a confidencialidade industrial e comercial. Como forma de ilustrar a divisão e capacidade de reciclagem de um veículo, a Tabela 1 mostra a relação da utilização de materiais em um veículo de passeio.

**Tabela 1 – Quantidade de material em um veículo – em %.**

<b>Material</b>	<b>Peso (em %)</b>
Metal Ferroso	68,3
Plásticos	9,1
Metal não-ferroso leve	6,3
Pneus	3,5
Vidro	2,9
Fluídos	2,1
Borracha	1,6
Metal não-ferroso pesado	1,5
Outros	1,5
Bateria	1,1
Polímeros de processo	1,1
Eletro-eletrônicos	0,7
Carpete	0,4

**Fonte: Gerrard e Kandlikar (2006).**

Ainda, segundo Gerrard e Kandlikar (2006), o fim de vida de um veículo deve se comprometer em permitir a recuperação de 5% da energia implicada até 2006 e 10% para 2015.

De maneira análoga, a iniciativa de instituir legislações que obriguem as empresas a diminuir a geração de resíduos tem reflexo também no Brasil. Ratificada em 2 de agosto de 2010, a Política Nacional de Resíduos Sólidos é uma Lei Federal (L12.305) que reúne princípios, objetivos e instrumentos, diretrizes, metas e ações adotadas pelo Governo Federal. Ela também institui o **Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (Sinir)**, com os objetivos de coletar e organizar sistematicamente dados sobre prestação de serviços de gestão de resíduos (públicos ou privados), resultados, indicadores e informações sobre reaproveitamento de resíduos e logística reversa. A L12.305 também



determina a elaboração de um Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e respectivos desdobramentos regionais (BRASIL, 2010).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos tem o foco voltado para a coleta seletiva dos resíduos, apresentando dados que apontam que a maior parte dos resíduos segue diretamente para os conhecidos lixões e aterros. Ela também determina algumas obrigações a serem cumpridas pelas empresas geradoras de resíduos sólidos no que tange ao desenvolvimento de produtos, conforme a seguir (BRASIL, 2010):

- a) Promover o aproveitamento de resíduos sólidos, direcionando-os para a cadeia produtiva ou para outras cadeias produtivas;
- b) Reduzir a geração de resíduos sólidos e danos ambientais;
- c) Incentivar a utilização de insumos de menor agressividade ao meio ambiente e maior sustentabilidade;
- d) Investir no desenvolvimento de produtos que sejam aptos, após o uso pelo consumidor, à reutilização, reciclagem, ou a outra forma de destinação ambientalmente adequada;
- e) Divulgar informações relativas a forma de evitar, reciclar e eliminar os resíduos sólidos associados aos respectivos produtos.

Entre outras legislações importantes, também podemos citar a Diretiva 2004/62/CE que trata da disposição de embalagens; para equipamentos eletrônicos, foram aprovadas a WEEE (*Waste Electrical and Electronic Equipment*) e a RoHS (*Restriction of Hazardous Substances*). No Brasil, outra iniciativa governamental de relevância é a Agenda Ambiental na Administração Pública – a A3P.

\*\*\*

Instituir-se legislações para que se cumpram os requisitos referentes à sustentabilidade é um grande passo, mas legislações por si só não permitem afirmar que há uma evolução na implementação destes requisitos. Para este fim, foram criados conceitos como Ciclo de Vida que, por sua vez, deu origem a ferramentas, como a ACV. Estes assuntos serão abordados a seguir.

## 2.1.2 Métodos e Ferramentas para Sustentabilidade

Nesta seção, são apresentados os métodos e as ferramentas para aplicação de conceitos de sustentabilidade utilizadas neste trabalho. É importante ressaltar que existem muitas outras ferramentas com o propósito de auxiliar na aplicação da sustentabilidade no PDP, porém as ferramentas foram escolhidas com base em três critérios: popularidade, efetividade e facilidade de aplicação. Na sequência, são apresentados os conceitos básicos sobre Ciclo de Vida e em seguida, os métodos e as ferramentas oriundos destes conceitos.

### 2.1.2.1 Ciclo de Vida

O termo **Ciclo de Vida** possui uma definição no contexto administrativo, representado pelas **fases**, a partir da entrada de um produto no mercado até sua retirada. Neste trabalho, será utilizado uma outra definição para este termo, segundo Manzini e Vezzoli (2008, p. 91): “o termo **Ciclo de Vida** refere-se às trocas (*input* e *output*) entre o ambiente e o conjunto dos processos que acompanham o ‘nascimento, vida e a morte’ de um produto”.

O ciclo de vida representa as atividades relacionadas à confecção de um produto, desde a obtenção da matéria-prima, fabricação e utilização até o ponto onde o produto não será mais de utilidade ao usuário. Normalmente, cada fase de um produto pode ser expressa em quantidade de energia absorvida e liberada para o ambiente, a partir das transformações sofridas. As fases de um produto estão divididas da seguinte forma (Manzini e Vezzoli, 2008):

- a) **Pré-produção**, na qual as matérias-primas são obtidas a partir da extração e transporte até a planta de fabricação do produto final, bem como a obtenção da energia necessária para a fabricação; podem ser originadas de **recursos primários** (virgens) ou **secundários** (reciclados), onde os primários podem ser do tipo **renovável** ou **não renovável**. Já os recursos secundários são resgatados em fases denominadas de **pré-consumo** e **pós-consumo**.

- b) **Produção**, dividida em três momentos: transformação dos materiais (diretos e indiretos), montagem e acabamento. É a fabricação do produto propriamente dita, que ainda engloba os processos de projeto e gestão.
- c) **Distribuição**, caracterizada pelas atividades de embalagem, transporte e armazenagem. Vale ressaltar que, os recursos utilizados na confecção dos meios de transporte utilizados bem como a construção dos locais de armazenamento também estão inclusos, de maneira sistêmica.
- d) **Uso** pelo cliente final, ou consumo, que pode envolver o consumo de outros recursos (ex. energia), e a produção de fluidos e/ou resíduos. Serviços de reparo, manutenção e substituição de peças também estão incluídos nesta fase, que dura até que o produto não seja mais utilizado por nenhum usuário ou descartado definitivamente; e
- e) **Descarte**, que se divide em três destinos: recuperação da funcionalidade, valorização do material ou do conteúdo energético e inutilização total. Os dois primeiros ainda envolvem atividades de remanufatura, reprocessamento, reciclagem, compostagem ou incineração. A reciclagem pode ser de dois tipos: em anel fechado, onde materiais recuperados são utilizados como recursos secundários, fechando o ciclo; ou em anel aberto, onde materiais recuperados são encaminhados para um uso diferente do de origem. Produtos que não tenham reutilização nenhuma serão despejados em lixos urbanos, ou dispersos no ambiente.

Existem ainda os chamados Ciclos de Vida Adicionais, isto é, a partir da função desempenhada pelo produto, podem estar associados à outros produtos e respectivos ciclos de vida particulares (e.y. embalagens).

A partir da conceituação de Ciclo de Vida, produtos podem ser projetados com base nestes conceitos: trata-se do Projeto para Ciclo de Vida. Segundo Manzini e Vezolli (2008), o Projeto para Ciclo de Vida possui dois objetivos básicos: i) reduzir ao mínimo possível o uso de materiais e energia e ii) reduzir o impacto das emissões e descartes finais do sistema-produto. Este segundo objetivo se desdobra em várias estratégias, tais como: extensão da utilização dos produtos, extensão da vida dos materiais, facilidades na desmontagem e outras estratégias que serão discutidas mais adiante.

Para a correta adoção de estratégias de fim de vida, deve-se considerar o tipo de produto que se está desenvolvendo, de acordo com a classificação a seguir (MANZINI; VEZOLLI, 2008):

- a) **Bens de consumo**, por exemplo comida, detergentes. Para esses tipos de produto, a redução do impacto ambiental é o principal objetivo. Já os bens monouso são aqueles que podem ser reciclados, reutilizados ou substituídos – embalagens, jornais. Para estes, o foco é no prolongamento da vida do produto, por meio de reutilização;
- b) **Bens duráveis**: esta categoria se divide em duas, uma que contempla os bens que precisam de pouco ou nenhum recurso durante uso e manutenção (e.j. móveis). Para estes, onde o ideal é que a vida útil seja estendida. A outra categoria contempla os bens que utilizam recursos no uso e manutenção (e.j. máquina de lavar). Aqui, a extensão da vida do produto depende da evolução das tecnologias envolvidas, pois seria desvantajoso estender a vida de um produto se já existe um substituto desenvolvido que gera menos impacto ambiental. A melhor abordagem é a de diminuição do consumo de recursos no período de uso.

O Projeto para Ciclo de Vida, como o nome já diz, considera no escopo todas as etapas de um ciclo completo, desde a fabricação até o descarte. Nesta pesquisa tratou-se apenas da etapa de descarte. Para esta etapa, a seguir apresenta-se a conceituação de Projeto para o Fim de Vida, que trata de estudar o desenvolvimento de produtos com foco sobre o descarte.

Sendo possivelmente a maior geradora impacto ambiental dentro do Ciclo de Vida, a etapa de Fim de Vida é também a mais incerta, devido à distância temporal entre a época em que o produto é projetado e o descarte pós-utilização, pois, neste intervalo, as tecnologias de reciclagem e remanufatura podem evoluir (MANZINI; VEZOLLI, 2008). Por isso, na fase de projeto, o cenário tecnológico em termos de reaproveitamento e reciclagem possivelmente irá mudar quando o descarte do produto for realizado (MANZINI; VEZOLLI, 2008).

O projeto para o fim de vida pode atuar em três situações distintas. Segundo Manzini e Vezzoli (2008), a primeira, chamada **fase imediata**, engloba os produtos outrora desenvolvidos que se encontram atualmente em fase de descarte. É possível apenas agir de

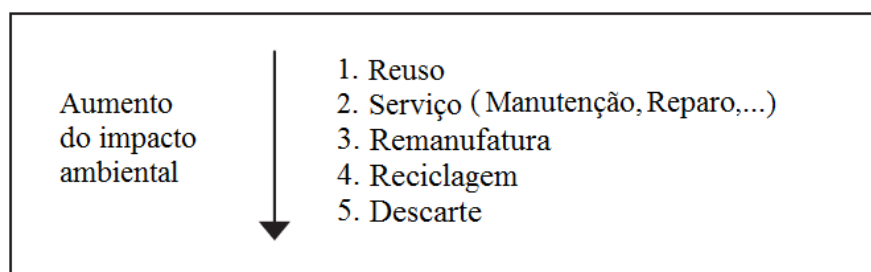
forma reativa, minimizando o impacto ambiental e melhorando os processos de reciclagem e reaproveitamento.

A segunda é a **fase de curto período**, que representa os produtos onde será possível já atuar desde a fase de projeto, porém sujeitos à inércia do sistema em permitir modificações de caráter ambiental. Estes produtos teriam o período de descarte no médio prazo e o impacto ambiental pelo menos minimizado em certo grau.

Já a terceira, a **fase de médio/longo prazo**, refere-se aos produtos que terão a concepção reformulada, sendo descartados no longo prazo. Para este caso, alterações radicais serão permitidas e, durante as fases iniciais de desenvolvimento, estratégias necessárias para garantir o mínimo impacto ambiental possível no fim de vida serão utilizadas pelos projetistas.

Com o foco na fase de fim de vida de um produto a ser desenvolvido, existem diversos trabalhos já publicados e ferramentas desenvolvidas para a aplicação de estratégias de fim de vida ao PDP, por exemplo, o trabalho desenvolvido na Universidade de São Carlos por Saavedra (2010), que contemplou uma vasta pesquisa a respeito da existência destas estratégias localizadas em mais de oitenta contextos diferentes.

Além das estratégias mencionadas em Saavedra (2010), outra pesquisa relevante para este trabalho foi realizada por Gehin, Zwolinski e Brissaud (2008), estabelecendo uma ordem de prioridades na definição das estratégias de fim de vida a partir da quantidade de energia despendida para o reaproveitamento de produtos, conforme a Figura 3.



**Figura 3 – lista de prioridades para os tipos de recuperação de produtos.**  
**Fonte: Adaptado de Gehin, Zwolinski e Brissaud (2007).**

No topo da lista, a estratégia de reuso aparece em primeiro lugar, uma vez que não há necessidade de reprocessamento dos componentes envolvidos; o produto pode ser reaproveitado imediatamente. Em segundo lugar, aparece a estratégia de reparo que define que um produto pode ser reaproveitado após simples operações de checagem e substituição de

componentes. Em terceiro lugar aparece a estratégia de remanufatura, em quarto na ordem de prioridade aparece a estratégia de reciclagem e, por último, a de descarte.

Após a apresentação do Projeto para Ciclo de Vida e o Projeto para fim de vida, faltaria ainda a revisão de uma ferramenta elaborada para a utilização efetiva destes assuntos dentro do PDP. A seguir, esta ferramenta será abordada na seção seguinte.

### 2.1.2.2 Avaliação do Ciclo de Vida

A ACV trata-se de uma ferramenta bastante antiga, surgida nos anos setenta no Instituto de Pesquisa Midwest, nos Estados Unidos, permanecendo no ostracismo até o final dos anos 80. A idéia básica é a de que toda a cadeia produtiva envolvida na vida do produto seja avaliada, desde a matéria-prima até o descarte do produto (KLOPFER, 1997).

A Avaliação de Ciclo de Vida é descrita em quatro fases: i) a primeira trata da **definição de objetivo e escopo**, para se determinar onde se quer chegar com a ACV proposta e o nível de profundidade e abrangência; ii) a seguir, uma **análise de inventário** é realizada, que consiste no mapeamento de todas as transformações que ocorrem na matéria-prima até que ela se torne um produto, e mais: inclui as fases de utilização do produto e as ações envolvidas no final da vida útil; iii) na sequência, é feita uma **avaliação de impacto** que, através da definição de parâmetros de comparação, determina-se os impactos ambientais ocasionados durante o ciclo de vida do produto; e iv) é realizada uma avaliação de melhora deste desempenho, fase esta que foi adicionada posteriormente, mas não menos importante.

Para a realização de ACV durante o PDP, existem vários métodos desenvolvidos que podem auxiliar um projetista. Dentre esses métodos, o *Eco-indicator* foi escolhido para ser utilizado neste trabalho devido a facilidade de aplicação, seu alto grau de difusão (em função dos resultados de busca em mecanismos de pesquisa de artigos acadêmicos) e seu formato sintético, que produz apenas um resultado, conforme será explicado a seguir.

Originado a partir de ACV e de iniciativas de políticas de ambientais tais como o IPP (Integrated Product Policy), o *Eco-indicator* surgiu em 1995 da iniciativa de várias entidades holandesas, dentre elas a Philips. Tratando-se de um método de atribuição de pesos, o *Eco-indicator* reúne, na primeira edição, 100 indicadores voltados a preservação do meio

ambiente. Os trabalhos foram desenvolvidos por equipe multidisciplinar, resultando em um manual cuidadosamente elaborado para ser utilizado pelos projetistas durante a concepção de produtos (GOEDKOOOP, 1995). Na Tabela 2 estão as fases de desenvolvimento de produto onde o *Eco-indicator* possui papel relevante. O documento ainda explica que, para que a ferramenta funcione de maneira correta, o produto objeto de estudo deve estar precisamente definido.

**Tabela 2 – Fases de utilização do método *Eco-indicator* durante as fases de projeto.**

Fase	Atividade	Instrumento
Planejamento do Produto	A idéia para um novo produto nasce nesta fase.	Regras gerais, experiência, parâmetros de políticas e legislações
Fase de orientação	A fase analítica. Uma grande quantidade de informação é coletada sobre os problemas de projeto. As informações são traduzidas em definições de tarefas e em um alto número de requisitos e desejos, objetivando escolher as idéias que poderão ser selecionadas.	Avaliação de Ciclo de Vida de produtos similares. Isto aciona o desenvolvimento de fronteiras de especificação a serem respeitadas e dentre elas as prioridades a serem estipuladas. Qualquer <i>Eco-indicator</i> indisponível, mas que se prove necessário, pode ser calculado aqui.
Desenvolvimento da ideia	Esta é a fase criativa, na qual o ciclo descrito é repetidamente executado.	Seleção de materiais e princípios de trabalho baseados no <i>Eco-indicator</i> .
Desenvolvimento do conceito	Nesta fase as melhores idéias são desenvolvidas, gerando vários conceitos.	Análises rápidas dos conceitos desenvolvidos até então com a ajuda do <i>Eco-indicator</i>
Projeto Detalhado	O melhor conceito é desenvolvido detalhadamente.	Escolhas dos detalhes com <i>Eco-indicator</i>

**Fonte: Goedkoop (1995).**

A ACV pode ser dividida em cinco módulos:

- 1) Produção do material;
- 2) Processamento do material;
- 3) Conversão ou geração de energia;
- 4) Transporte;
- 5) Processamento do descarte.

A Figura 4 representa um exemplo de análise realizada para uma máquina de café. Cada bloco representa um módulo de ACV para o qual os indicadores devem ser trabalhados. Segundo Goedkoop, Effting e Collington (2000), o projetista define como será o ciclo completo, que unidade funcional ele representa e as quantidades necessárias de material e

processamento. Os consumos de matéria-prima e as emissões são identificadas em um inventário realizado no início da ACV.

A lista dos Eco-indicadores, conforme relacionados no *Eco-indicator* (GOEDKOOOP, 1995) podem ser encontradas no Anexo A.

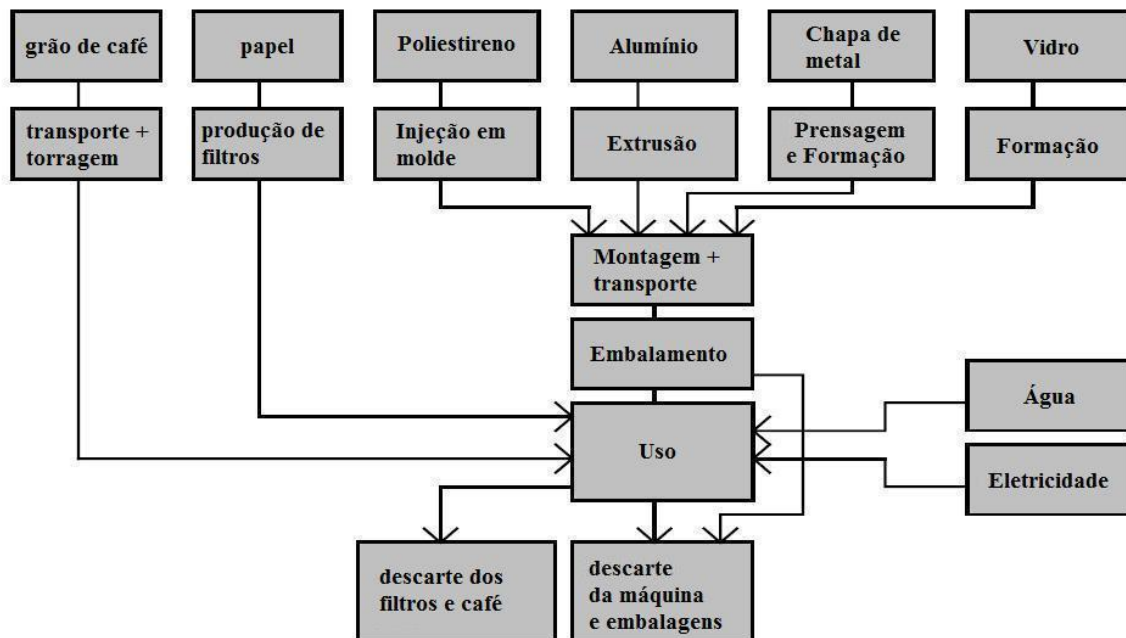


Figura 4 – diagrama de ciclo de vida de uma operação na máquina de café.  
Fonte: Goedkoop, Effting e Collignon (2000).

A utilização do *Eco-indicator* para a análise do problema da máquina de café é descrita por meio da execução de cinco passos (GOEDKOOOP; EFFTING; COLLINGTON, 2000):

- Estabelecer o propósito para o cálculo do *ECO-Indicator*:** o que pode ser alterado pelo projetista no projeto da máquina que venha trazer benefícios ao meio ambiente? A princípio, o método do *ECO-Indicator* não tem como objetivo comparar duas alternativas e informar qual é a melhor; no entanto, por meio de *ECO-Indicator* é possível realizar uma comparação preliminar entre diferentes alternativas;
- Definir o ciclo de vida:** a Figura 4 representa a Arvore de Processos de uma máquina de café. Todos os insumos são relacionados, os processos de transformação e as etapas de uso e descarte também são consideradas.



- c) **Quantificar materiais e processos:** as quantidades podem ser recuperadas das especificações ou, em caso de produto já fabricado, da pesagem dos componentes. Assume-se algumas hipóteses para o consumo e descarte.
- d) **Preencher o formulário:** o formulário é então preenchido para cada etapa do ciclo de vida, onde os resultados são calculados para cada processo. Onde há dados faltando, assume hipóteses a partir de cenários semelhantes. Na Tabela 3 os cálculos para o exemplo da máquina de café podem ser encontrados. Para cada material e processo envolvido no ciclo de vida da máquina há um valor para o indicador (ver Anexo A), que multiplica a quantidade utilizada.

**Tabela 3 - Cálculos ECO-Indicator para exemplo da máquina de café.**

<b>Produção</b>			
<b>material ou processo</b>	<b>qtde</b>	<b>indicador</b>	<b>resultado</b>
Poliestireno [kg]	1	360	360
Injeção em molde - PE [kg]	1	21	21
Aluminio [kg]	0,1	780	78
Extrusão de Al [kg]	0,1	72	7,2
Aço [kg]	0,3	86	25,8
Vidro [kg]	0,4	58	23,2
Formagem (forno a gás) [MJ]	4	5,3	21,2
Total [mPt]			536,4
<b>Uso</b>			
<b>material ou processo</b>	<b>qtde</b>	<b>indicador</b>	<b>resultado</b>
eletricidade - baixa voltagem [kWh]	375	37	13875
papel [kg]	7,3	96	700,8
Total [mPt]			14575,8
<b>Descarte</b>			
<b>material ou processo</b>	<b>qtde</b>	<b>indicador</b>	<b>resultado</b>
lixo municipal - PE [kg]	1	2	2
lixo municipal - ferroso [kg]	0,4	-5,9	-2,36
lixo municipal - vidro [kg]	0,4	-6,9	-2,76
lixo municipal - papel [kg]	7,3	0,71	5,183
Total [mPt]			2,063
<b>Total [mPt] - Todas as fases</b>			<b>15114,263</b>

Fonte: Goedkoop, Effting e Collignon (2000).

- e) **Interpretar os resultados:** neste exemplo, pode-se perceber que a fase de uso gera um impacto muito maior do que as fases de produção e descarte. Assim, o projetista já sabe que deve concentrar esforços na economia de energia elétrica.

A partir da construção da extensa base de dados do *Eco-Indicator*, o SimaPRO foi elaborado e desenvolvido utilizando esta base de dados e outras conhecidas. Trata-se de um *software* desenvolvido pela equipe da PréConsultants, empresa que trabalha com pesquisa sobre ciclo de vida de produtos há mais de vinte anos (PRODUCT ECOLOGY CONSULTANTS, 2012).

O SimaPRO está estruturado como um explorador de produtos. Ele funciona a partir da inserção dos dados do produto de forma estruturada: inicia-se pelo produto completo, depois seus sistemas, depois subsistemas, até o nível de detalhamento desejado. O programa é organizado pelas fases do ciclo de vida, iniciando-se pela fabricação das matérias-primas utilizadas, para cada componente. Informações dos processos industriais de transformação também podem ser inseridos, assim como transporte e embalagem. Para a fase de uso, informações de energia e recursos dispendidos durante esta fase também podem ser adicionadas e, por último, podem ser detalhadas as fases de descarte e fim de vida. O programa possui várias estratégias de recuperação de produtos e realiza os cálculos de impacto levando em conta todas estas informações.

O programa já possui um extenso banco de dados (um dos bancos de dados é justamente o *Eco-indicator*), contendo informações de matéria-prima, processos e assim por diante, contemplando também seus impactos. Além disso, o SimaPro pode ser adaptado de acordo com as necessidades do usuário (SILVA, 2002).

A Figura 5 traz uma imagem da tela inicial de utilização do programa e inserção dos dados, que posteriormente permite a geração de relatórios de impacto ambiental e gráficos que ilustrem os resultados encontrados. Neste programa, também é possível estabelecer comparações entre duas ou mais alternativas através de gráficos e tabelas, para que se possa visualizar as vantagens que as alternativas apresentam sobre as outras. Além disso, o SimaPRO também gera as árvores de fluxo de massa, conforme representado na Figura 6.

Com ampla difusão, o SimaPro já é utilizado em mais de oitenta países no mundo. As versões mais especializadas permitem interface com programas de CAD/CAM (*Computer-Aided Design/Computer-aided Manufacture*). Com sua utilização é possível mapear os impactos ambientais e diagnosticar as ações mais relevantes que irão causar maior efeito nos indicadores.

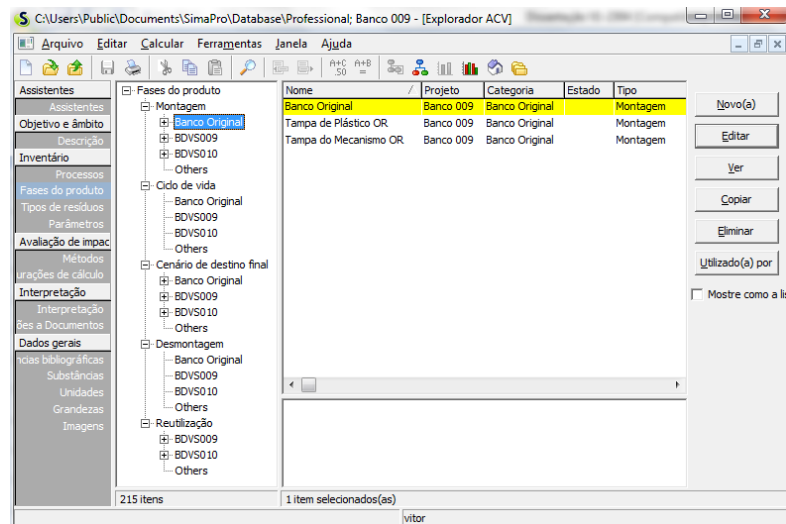


Figura 5 - Tela principal do SimaPRO.

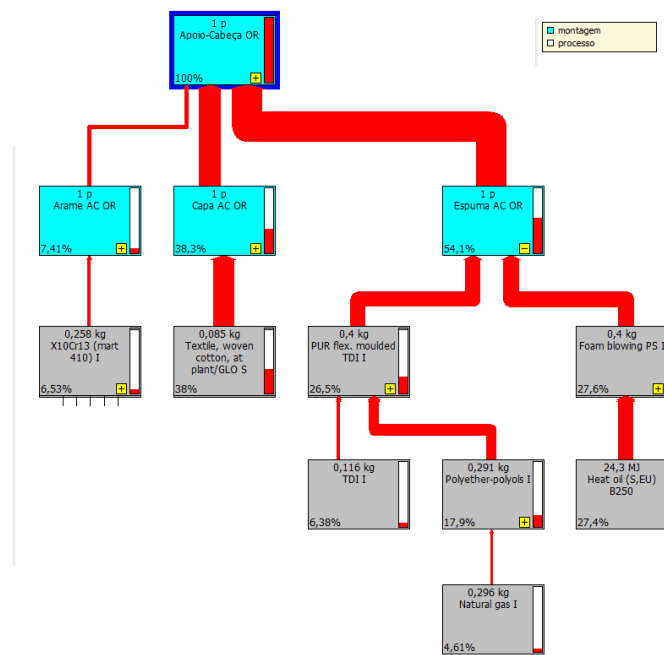


Figura 6 - Árvore de fluxo de material gerada no SimaPRO.

Este conteúdo de sustentabilidade e ciclo de vida será inserido no modelo aperfeiçoado *Stage-gate*. Este modelo será examinado na seção seguinte, que irá tratar de uma breve revisão sobre modelos para o PDP e em seguida, do modelo *Stage-gate* especificamente, fases, regras e outros detalhes.

## 2.2 ORGANIZANDO O PDP: SURGEM OS MODELOS

Modelar o desenvolvimento de um produto tornou-se uma necessidade devido ao aumento da competição entre empresas. Aquele que conseguisse desenvolver um produto com baixo custo e alta qualidade iria ganhar a preferência do cliente, aumentando as vendas. Para tal, uma melhor organização das atividades seria necessária, definindo claramente os pontos de controle, requisitos de entrada e saída e atribuições de cada departamento – no início destas discussões, as empresas ainda funcionavam de maneira departamentalizada; algumas delas o são até hoje.

Estudos em busca da melhor organização das atividades de desenvolvimento datam do período após a segunda guerra mundial, conduzidos por Asimov (1962), Krick (1965) e outros (BACK et al., 2008). Ainda, outros estudos de grande relevância ocorreram na Alemanha, desenvolvidos por Koller (1976), Pahl e Beitz (1977), apenas para citar alguns exemplos, segundo Back et al. (2008).

A partir de um período de observação e dezenas de pesquisas, em 1992, Wheelright e Clark deram início ao movimento New Product Development (NPD) ou Integrated Product Development, originados da filosofia de *Concurrent Engineering* (melhor traduzida como Engenharia Simultânea) que defende que, em um PDP várias atividades podem ser realizadas em paralelo ao invés de sequenciadas, tornando o processo muito mais ágil. Além disso, este novo enfoque de desenvolvimento trouxe a estruturação do desenvolvimento com marcos periódicos de revisão do projeto para verificação da direção e apresenta também uma metodologia de funil para a condução de um PDP (WHEELRIGHT; CLARK, 1992).

Entre as primeiras companhias a adotarem esta estratégia com relativo sucesso estavam as montadoras de veículos, principalmente as norte-americanas, devido ao alto valor agregado e complexidade dos produtos (COOPER, 1988). Logo, empresas de outros setores também seguiram esta tendência, incentivando a continuação das pesquisas em torno do processo de desenvolvimento de produto. Em 1986, Robert G. Cooper publicava a primeira edição do livro *Winning at New Products*, causando um grande impacto na comunidade científica e empresarial. Pesquisas o levaram ao desenvolvimento do modelo *Stage-gate* - ou “estágio-portal” - em 1988, segmentando o desenvolvimento de um produto em vários estágios seguidos de reuniões de avaliação do projeto, com a finalidade de decidir sobre a

continuidade ou interrupção. É este modelo que foi escolhido para o desenvolvimento desta pesquisa, e será explicado na próxima seção.

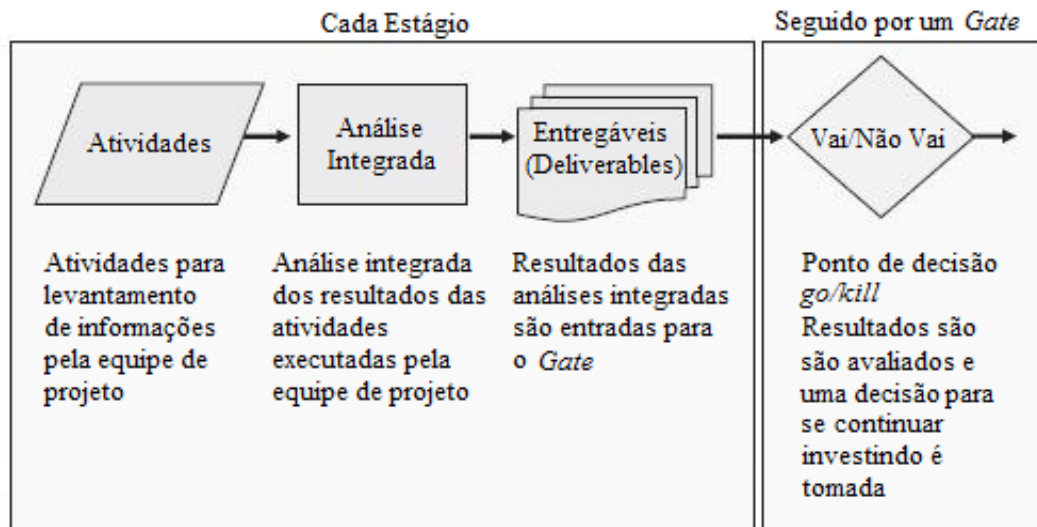
### 2.3 STAGE-GATE

O termo *Stage-gate*® (SG) foi introduzido por Cooper (1988) para dar nome à um novo conceito de desenvolvimento de produto, resultante da análise de resultados obtidos pelas companhias que já utilizavam sistemáticas nos desenvolvimentos de produto com relativo sucesso. Em 2008, após várias revisões e esclarecimentos do método, Cooper explica-o como sendo “um mapa conceitual e operacional para deslocar projetos de novos produtos desde a idéia até o lançamento e além”. Em outra analogia, Cooper (2008) compara o processo de *Stage-gate* com “os cadernos de jogadas de futebol americano, que contém as jogadas necessárias para se ganhar um jogo”. Segundo ele, “as primeiras jogadas da partida são aquelas mais importantes”, ou seja, as primeiras atividades relacionadas ao desenvolvimento do produto são aquelas onde se deve imprimir grande esforço.

O modelo SG é representado basicamente por uma série de estágios onde a equipe de projeto executa as atividades pertinentes, intercalados por *gates* – sessões pontuais onde os resultados das atividades executadas no estágio precedente são avaliados e uma decisão é tomada: se o projeto segue em frente ou é cancelado. Uma representação do modelo está ilustrada na Figura 7.

Segundo Cooper (2001), são sete os objetivos que o SG visa atingir:

- a) **Qualidade na execução:** o conceito de qualidade, quando inserido em um processo qualquer, pode ser traduzido como a realização de todas as tarefas necessárias sem cometer erros em todas as vezes que elas forem executadas. No entanto, quando se trata de um processo de concepção e desenvolvimento de produto, a complexidade dos produtos envolvidos, a quantidade de pessoas envolvidas, a quantidade de informação trocada entre membros da equipe de desenvolvimento e prazos cada vez mais curtos para a realização de tarefas de relativa complexidade aumentam a chance do aparecimento de falhas. Naturalmente, estas falhas no processo acabam gerando falhas no produto final.



**Figura 7 – Modelo de desenvolvimento Stage-gate.**

**Fonte: Cooper (2001).**

É preciso encontrar uma maneira sistemática para realização de projetos, garantindo que as atividades sejam cumpridas e apresentem resultados robustos. O conhecimento de que, ao final do estágio atual de desenvolvimento será realizada uma verificação e confronto dos resultados nos *Gates*, já faz com que a equipe de projeto busque uma qualidade melhor nos resultados a serem apresentados, sob o risco de serem questionados e terem os argumentos invalidados, colocando todo o projeto em risco;

- b) **Foco preciso, melhorar as prioridades** – grande parte das companhias possui vários projetos em andamento ao mesmo tempo, porém não possui recursos suficientes para realizar a gestão de todos. Isto se dá devido à fraqueza nos processos de seleção em determinar quais projetos devem seguir em frente ou não, funcionando mais como um **túnel** do que como **funil**. Neste caso, ao invés de trabalhar-se apenas nos projetos que trarão maior rentabilidade e concentrar esforços, realizam-se todos os projetos propostos ao mesmo tempo, diminuindo o nível de qualidade geral dos resultados. O *Stage-gate* propõe que sejam realizados questionamentos a respeito da viabilidade econômica, da qualidade e dos planos de ação relativos aos projetos em andamento para que ele seja avaliado como um todo na hora de se decidir se ele continua ou é cancelado;
- c) **Processamento paralelo sob ritmo acelerado** – com a crescente pressão pela entrega rápida dos projetos, não resta alternativa ao gerente de projeto a não ser ter que realizar atividades de projeto em paralelo. Assim, a equipe pode trocar informações e desenvolver

as tarefas utilizando o prazo fornecido, até a chegada do *gate* de avaliação, que irá avaliar a qualidade;

- d) **Abordagem de equipe multifuncional** – para que o modelo de SG funcione, é necessário a montagem de uma equipe multifuncional, com componentes de vários departamentos atuando em conjunto, sob a tutela de um gerente de projeto claramente definido, dedicado exclusivamente ao projeto, desde o início até o término. A estrutura da equipe é fluida, podendo agregar mais ou menos componentes de acordo com a carga de trabalho necessária, flutuante durante o desenvolvimento. Há, no entanto, os membros-chave na equipe, que devem permanecer durante todo o projeto. Recompensas devem ser dadas quando os resultados são atingidos;
- e) **Orientação forte de mercado a partir da voz do cliente** – em várias análises é possível perceber que um dos principais motivos para o fracasso de um produto é a falta de orientação para o mercado. Em Cooper (2001) encontram-se descritas as ações obrigatórias a serem conduzidas pelo departamento comercial;
- f) **É mais vantajoso fazer o dever de casa nas fases iniciais** – o desempenho de um produto é definido logo no início do desenvolvimento. Estranhamente, a maior parte da verba é alocada nos estágios finais do desenvolvimento. Antes do prosseguimento de um projeto para a fase de desenvolvimento, os *gates* iniciais devem poder realizar análises robustas das propostas a serem consideradas, a partir de um *business case* bem elaborado, consistente;
- g) **Produtos com vantagem competitiva** – toda e qualquer oportunidade de se agregar valor para o cliente deve ser aproveitada, com o objetivo de diferenciar o produto em desenvolvimento dos concorrentes no mercado. Uma das maneiras de garantir este aspecto é solicitando provas da superioridade do produto frente aos outros durante a passagem do *gate*.

### 2.3.1 Fases

O *Stage-gate* possui fases preliminares e de projeto representadas da seguinte maneira, de acordo com Cooper (2001):

- a) **Geração de idéias:** realizada a partir de inúmeras fontes de informação, tais como departamento de pesquisa e desenvolvimento, prospecção de clientes, universidades, patentes, pesquisa da voz do cliente, e outras. Cooper (2001) afirma que a geração de idéias é “trabalho de todos e responsabilidade de ninguém”. Após esta fase é realizado o primeiro *gate*, denominado **Quadro de Idéias**, e tem por objetivo triar a melhor idéia; aquela que possui potencial para se tornar um produto de sucesso;
- b) **Escopo (Primeiro estágio):** após a seleção das idéias, entra-se na fase de escopo. Nesta fase a principal preocupação é reunir, para a idéia selecionada, grande quantidade de informação com baixo custo. Avaliações preliminares de caráter técnico, mercadológico, financeiro e do negócio são realizadas, bem como recomendações e planos. De posse destas informações, o estágio é então submetido ao *gate 2*, chamado de **Segundo Quadro**, onde a decisão a favor irá conduzir ao estágio seguinte, de construção do *business case*, conhecido pela ampla extensão;
- c) **Construindo um *business case* (Segundo estágio):** este é o último dos estágios preliminares que constituem o pré-desenvolvimento, conhecidamente o mais difícil e custoso. É nesta fase que o produto é definido e são detalhados a justificativa e o cronograma de projeto. Nesta fase são retomadas as avaliações da fase anterior com um caráter mais detalhado. Também é realizado estudo sobre a voz do cliente, análise da concorrência, avaliação da viabilidade de manufatura e testes dos conceitos propostos junto ao cliente. Aqui também há a submissão a um *gate-review*, onde a decisão a favor levará ao desenvolvimento;
- d) **Desenvolvimento:** nesta fase serão gerados os resultados (*deliverables*) solicitados pelo responsável pelo *gate*. As atividades são: i) garimpo das informações de entrada dos clientes em busca de constantes *feedbacks*, ii) realização de testes do produto junto ao usuário final e atividades de suporte, como o desenvolvimento de mercado, questões sobre propriedade intelectual e de respeito à legislação, iii) definição dos processos de produção e fornecimento, iv) atualização das análises financeira e de negócio e v) desenvolvimento de planos de ação. Aqui, produto e processos de fabricação são definidos. Nesta etapa dois problemas podem ocorrer: 1) definição do produto incorreta, fruto da tradução equivocada do conceito em um produto e 2) mudanças de qualquer gênero que sejam significativas o suficiente para resultar em uma redefinição do produto,



que deve ser buscada sem receio. O respeito ao cronograma de projeto proposto é crucial nesta etapa;

e) **Testes e validação:** nesta fase ocorre a validação total do produto, do processo e da estratégia de lançamento através da realização extensiva de testes, incluindo saídas de campo, usabilidade, implementação de meios de produção e testes de mercado. Após a avaliação dos resultados obtidos no *gate* ao final desta fase (chamado de **Lançamento**), a decisão favorável permitirá a comercialização do produto produzido em série;

f) **Produção em massa e lançamento no mercado:** nesta etapa são desenvolvidas as atividades referentes à distribuição do produto pela rede revendedora, *marketing*, preparação de estratégia de pós-venda e fabricação em série do produto e;

g) a etapa de **Avaliação Pós-implementação** sugere uma revisão de todo o processo de desenvolvimento com o objetivo de verificar os pontos fortes e fracos do desenvolvimento, para a realização de retroalimentação dos procedimentos relativos ao PDP de uma empresa, caracterizando um processo de melhoria contínua a partir das experiências e lições aprendidas com o desenvolvimento.

A Figura 8 contém as fases acima descritas organizadas em um fluxograma. O quadro vermelho circulando os estágios 4 e 5 e o 5º *gate* representam o período final de desenvolvimento a partir do qual os meios de produção (que consistem em um grande volume de investimento para a fabricação) já foram encomendados e, portanto, não permitem grandes modificações no produto ou processo; apenas pequenos ajustes serão realizados.

A definição dos critérios de avaliação para cada *gate* de cada estágio é realizada de maneira sistemática, utilizando um conjunto de critérios compatível com o grau de evolução do produto no estágio que o antecede. Cooper (2008) apresenta três abordagens principais para a seleção de projetos em *gates*:

- a) Técnicas de medição de benefícios: mais eficientes para avaliação dos estágios iniciais, desde o Quadro de Idéias e até a decisão em se partir para o desenvolvimento;
- b) Modelos financeiros ou econômicos: avaliação dos projetos como se fossem uma alternativa de investimento qualquer. Vale-se de abordagens computacionais como tempo de *payback*, análise de retorno de investimento, valor líquido presente e taxa interna de retorno. Este modelo, no entanto, é frágil devido à falta de confiabilidade dos dados financeiros;

c) Métodos de carteira de projetos: este método é utilizado quando o SG é aplicado na seleção de projetos para definição da carteira de projetos de uma empresa.

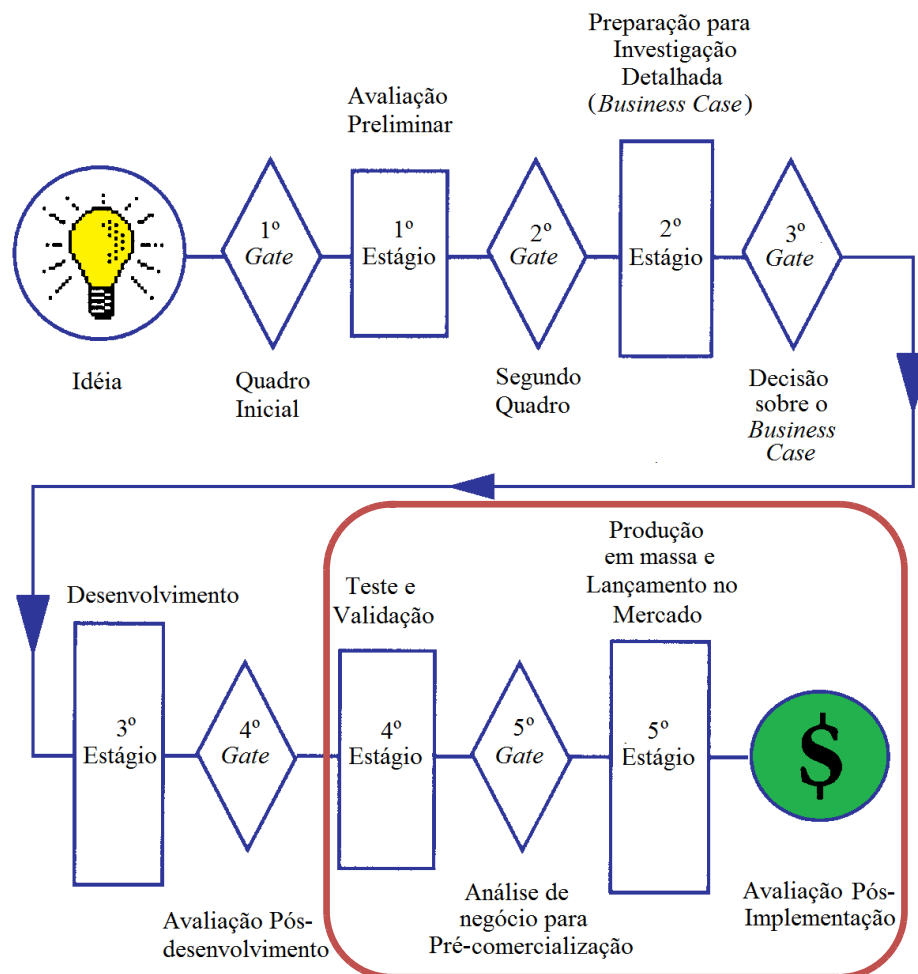


Figura 8 – Modelo de desenvolvimento *Stage-gate* representando os estágios e os *gates*.  
Fonte: Adaptado de Cooper (2001).

Os *gates* são divididos em três elementos: os *deliverables*, que são os resultados dos testes, realizados durante o estágio antecedente; os *critérios*, que serão utilizados como base para a realização das atividades e as *saídas*, que são os resultados do *gate*. Os participantes devem estar bem informados a respeito dos tipos de saídas resultantes do *gate*, da decisão tomada e qual direção de trabalho será tomada após o *gate*. São quatro as decisões possíveis:

a) *Go*, quer dizer que o projeto está aprovado e os recursos garantidos;

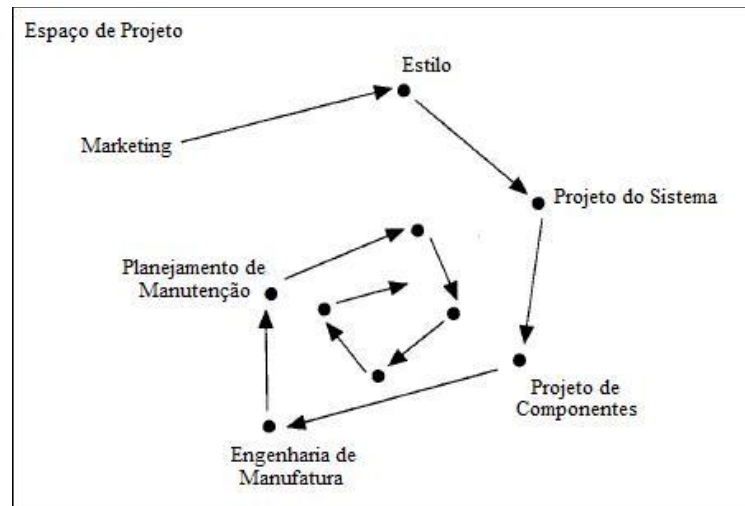
- b) *kill* quer dizer que o projeto deve ser cancelado, interrompendo imediatamente qualquer alocação de recursos para ele;
- c) *hold* significa que o projeto está aprovado, no entanto existem outros projetos mais importantes na ordem de prioridade e o projeto em avaliação deve esperar;
- d) *recycle*, quer dizer que a equipe de projeto não entregou aquilo que se esperava dela. O estágio deve ser realizado novamente, com melhor qualidade, para ser ressubmetido à avaliação no *gate*. Análogo ao significado de retrabalho em uma linha de produção.

Os critérios são divididos em dois tipos: os do tipo “Precisa Atender” (obrigatório o atendimento) e os do tipo “Deve Atender” (é interessante que atendam, mas não bloqueiam o processo), podendo ser quantitativos e qualitativos. Uma prática aconselhável é que seja feito um *checklist* relacionando os entregáveis que devem estar prontos para que a avaliação no *gate* possa transcorrer sem problemas.

A metodologia *Stage-gate*, no entanto, é comumente utilizada associada à abordagem de desenvolvimento de produto denominada *Point-based*, que sugere uma maneira iterativa de desenvolvimento, o que acarreta em inúmeros retrabalhos ao longo do processo. Uma alternativa à esta abordagem foi criada pelos japoneses da Toyota e se chama *Set-based*; na próxima seção, será examinada a literatura a respeito desta abordagem de desenvolvimento de produto.

## 2.4 SET-BASED ENGINEERING

A abordagem *point-based* (engenharia simultânea ponto a ponto) sempre foi utilizada em PDPs realizados pelas companhias ocidentais. Nela, o **conceito** de um produto é definido logo após as discussões preliminares, geralmente capitaneadas pelo departamento de *design*, sendo então desenvolvido de maneira iterativa. Este processo está representado na Figura 9, onde pode-se verificar que o desenvolvimento evolui de uma área para outra, em um processo que deu origem ao termo *throw it over the wall*, devido à tendência de que um departamento se exima de qualquer responsabilidade após a passagem para o departamento seguinte, o que compromete a qualidade do PDP (SOBEK II, WARD, LIKER, 1999).

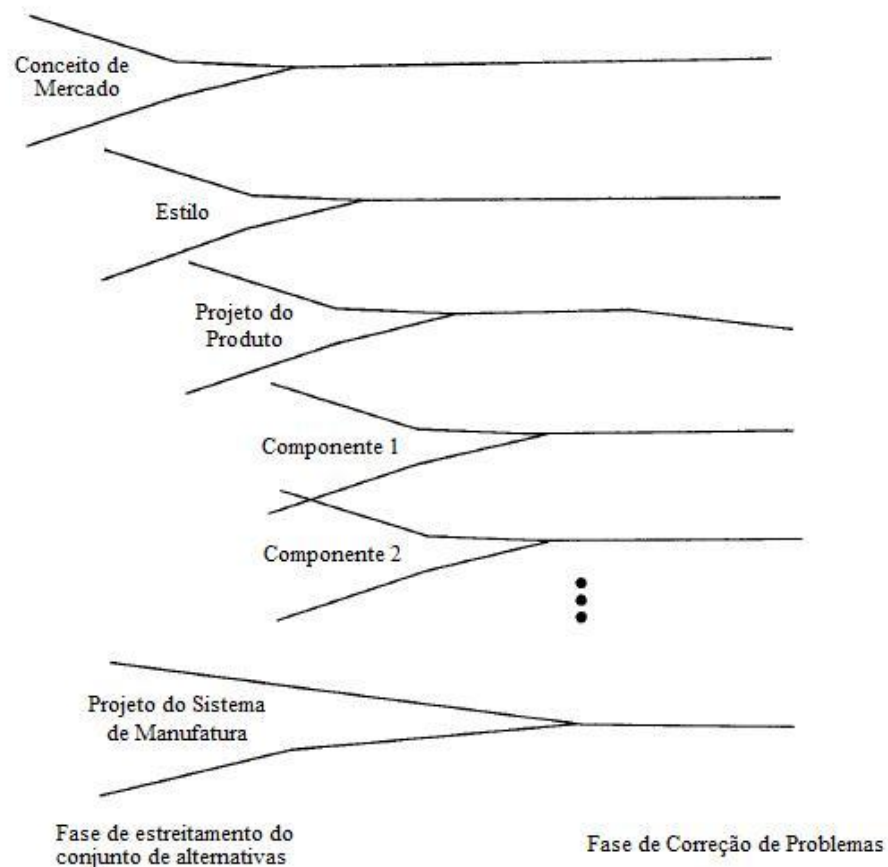


**Figura 9 – Diagrama modelo *point-based* (ponto a ponto).**  
**Fonte: Ward et al. (1995).**

Essa estratégia mostra-se adequada quando o mercado é estável e as condições de desenvolvimento são dominadas pelos envolvidos, isto é, a equipe de projeto conhece profundamente a problemática em torno do produto e os passos a serem executados. Neste caso, não faz sentido trabalhar sobre várias alternativas; projeta-se logo o conceito mais adequado (SOBEK II, 1997).

Porém, para os casos onde as condições de mercado são incertas, a tecnologia e as condições de desenvolvimento não são dominadas, Sobek II (1997) afirma que a abordagem *Set-based* (engenharia por conjuntos de alternativas) é mais adequada, pois nela os projetistas testam diferentes conceitos, combinando as soluções mais adequadas. Camargo Junior e Yu (2007) ratificam esta afirmação em trabalho comparativo sobre as duas estratégias para os indicadores de desempenho econômico, riscos associados e *time-to-market* (tempo de desenvolvimento de um produto até a chegada ao mercado).

O conceito de *Set-based* nasceu pouco antes da ascensão da Toyota no mercado automobilístico americano. Ward e Seering (1989) descrevem um desenvolvimento baseado em conjuntos de alternativas desenvolvidas em paralelo, que com a evolução do projeto vão sendo eliminadas, seguindo critérios de engenharia. Já o termo *Set-based Engineering* apareceu pela primeira vez em Ward et al. (1995), que denomina o conceito como o “segundo paradoxo Toyota”. Nessa abordagem, projetistas trabalham sobre conjuntos de soluções em paralelo, desenvolvendo-as além dos conceitos iniciais, levando mais tempo para escolher por um único conceito definitivo do que as concorrentes de mercado. Este conceito está representado pela Figura 10.



Nota: baseado em um esboço feito pelo Gerente Geral do Corpo de Engenharia da Toyota em 1993.

Figura 10 – Esquema de funcionamento da abordagem *Set-based* (baseada em conjunto de alternativas). Fonte: Ward et al. (1995).

Sobek II, Ward e Liker (1999) detalhou os três princípios que definem o conceito de *Set-based concurrent engineering*, da seguinte maneira:

- a) **Mapeamento do espaço de projeto:** conjuntos de alternativas são caracterizados, desenvolvidos e comunicados através dos envolvidos no projeto. Regiões de viabilidade associadas e custos relativos à cada alternativa são mapeados e desdobrados para os sistemas e subsistemas que compõem cada solução. Nesta fase, também são determinados prós e os contras de cada alternativa e comparados entre si;
- b) **Integração por intersecção:** a partir da compreensão pelos grupos funcionais das soluções apontadas por cada grupo e respectivos impactos, busca-se intersecções harmoniosas entre as alternativas viáveis. Ainda há poucas restrições de projeto, garantindo a flexibilidade por mais tempo, em busca de uma melhor robustez;

c) **Estabelecimento de viabilidade antes de firmar compromisso**, por meio do estreitamento gradual das alternativas. Quando uma alternativa está dominada por outra que possua também outras vantagens, ela é descartada, e assim sucessivamente. A partir do momento em que as alternativas estão definidas, não é permitido acrescentar outras. As incertezas relacionadas são monitoradas e controladas até a escolha da alternativa definitiva, que pode absorver sistemas e soluções contidas inicialmente em outras alternativas.

A grande diferença da abordagem de SBD com relação aos métodos de PDP baseados em *point-based* (e.j. Modelo de Rozenfeld, Stage-Gate, Baxter) é que a decisão sobre o conceito final do produto só ocorre quando o projeto se encontra na fase de industrialização deste produto. De maneira análoga, há o desenvolvimento de mais de uma alternativa ao longo da fase de **Projeto Detalhado** do modelo descrito em Rozenfeld et al., (2006), ou da fase **Construindo um business case** do SG, e assim por diante.

\*\*\*

A partir da revisão destes três principais assuntos, buscou-se entender como os três poderiam ser relacionados, através da verificação de outras iniciativas de associação que obtiveram resultados satisfatórios. Na próxima seção, estão descritas as iniciativas de associação entre os assuntos revisados encontradas na literatura.

## 2.5 ASSOCIAÇÕES ENTRE SET-BASED, STAGE-GATE E SUSTENTABILIDADE

Esta seção tem como objetivo apresentar alguns exemplos de associação entre as técnicas envolvidas nesta pesquisa, de maneira a demonstrar como é possível estabelecer métodos combinados, de maneira a consolidar um *benchmarking* para a associação aqui proposta.

Existem algumas linhas de pesquisa que procuram associar técnicas de desenvolvimento de produto com princípios de sustentabilidade. A Asea Brown-Bovery (ABB) integrou o programa de sustentabilidade dentro do modelo de desenvolvimento *Stage-gate* (TINGSTROM; SWANSTROM; KARLSSON, 2006). A partir do ano 2000, objetivos

de sustentabilidade foram inseridos no modelo, dando o impulso para a integração entre estas duas abordagens. Na Tabela 4, encontram-se os estágios e os resultados esperados a partir da inserção de princípios de sustentabilidade em um PDP. O responsável pelo *gate* deve tomar consciência dos aspectos de sustentabilidade desde as fases preliminares. Este novo modelo já foi utilizado na prática, gerando ótimos resultados para a companhia.

**Tabela 4 – Fases do modelo *Stage-gate* adaptado pela ABB.**

No. <i>Gate</i>	Estágio do Projeto	Saídas de Sustentabilidade
0	<b>Iniciar o Projeto</b>	Aspectos de sustentabilidade, requisitos, avaliações e objetivos
1	<b>Iniciar Planejamento</b>	Plano de Sustentabilidade
2	<b>Iniciar Execução</b>	Executar o plano de Sustentabilidade
3	<b>Confirmar Execução</b>	Executar o plano de Sustentabilidade
4	<b>Iniciar Introdução</b>	Executar o plano de Sustentabilidade
5	<b>Lançamento do Produto</b>	<i>Follow-up</i> e Documentação
6	<b>Fechamento do Projeto</b>	<i>Follow-up</i> e Documentação
7	<b>Investigação Retrospectiva</b>	-

Fonte: Tingstrom, Swanstrom, Karlsson (2006).

Há também iniciativas de associação entre sustentabilidade e a abordagem *Set-based*. Inoue et al. (2010) partem do já desenvolvido conceito particular de *Set-based* (PSD), utilizando dois indicadores relacionados entre si: emissão de CO<sub>2</sub> e massa dos produtos; quanto maior a massa, maior a quantidade de dióxido de carbono despendido na movimentação do produto. Este trabalho mostra claramente a diferença entre as performances de um produto desenvolvido em função da otimização do desempenho e performance desenvolvendo-o em função da sustentabilidade, para auxílio à tomada de decisão dos projetistas.

Combinações de SBD com sustentabilidade, assim como SG e sustentabilidade geram resultados satisfatórios, melhores do que considerando-se cada assunto separadamente. Isto tem acontecido também devido a forte tendência da inserção de princípios sustentáveis no desenvolvimento, e reflete que na prática o PDP já está se transformando para se adequar a esta nova tendência.

\*\*\*

Este capítulo revisou conteúdos fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho, desde aspectos sustentáveis, passando pelo modelo de desenvolvimento de produto *stage-gate*, pela abordagem *Set-based* e concluindo com iniciativas de combinação entre os

assuntos envolvidos nesta pesquisa. Assim, todos os itens envolvidos neste trabalho foram revisados e a partir destes conhecimentos é possível seguir adiante com as tarefas e entregas propostas no início deste trabalho.

A seguir, no Capítulo 3, são apresentados os aspectos metodológicos e a caracterização da pesquisa, bem como as etapas cumpridas.



### 3 ASPECTOS METODOLÓGICOS

Neste capítulo são apresentados os métodos de trabalho e os materiais que foram utilizados na condução da pesquisa, iniciando com a caracterização, passando pelos métodos utilizados e pelas atividades relacionadas à conclusão deste projeto.

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Esta pesquisa está relacionada ao desenvolvimento de produtos utilizando-se uma ferramenta baseada em um modelo aperfeiçoado que poderá ser utilizado por empresas; portanto, a natureza é aplicada.

As hipóteses e os problemas contidos neste trabalho são abordados de maneira qualitativa, buscando-se identificar os processos relacionados através de levantamentos de hipóteses, respostas e elaboração de exemplos para esclarecimentos das propostas aqui descritas, dando o caráter de exploratória quanto aos objetivos.

Já sobre os procedimentos técnicos, o foco é pesquisa experimental. A verificação dos conceitos propostos é feita após a restrição do espaço definido de controle, observando-se os efeitos nos produtos estudados.

Os critérios das avaliações realizadas dentro do modelo de SG a ser proposto contemplam apenas requisitos de sustentabilidade. Não são trabalhados aqui outros requisitos como, por exemplo, de logística ou fabricação. Esta pesquisa possui ainda a restrição de tratar de um número limitado de componentes, ligados à indústria automotiva. Porém, como se trata de um modelo genérico de desenvolvimento de produto, seus princípios podem ser compartilhados para quase a totalidade de desenvolvimentos de produto, desde que não sejam projetos envolvidos com algum tipo de tecnologia avançada.

Por utilizar apenas requisitos de sustentabilidade dentro do processo de SG para a definição das alternativas a serem desenvolvidas, esta pesquisa se limita a caracterizar apenas parcialmente o produto, não se aprofundando em aspectos tais como viabilidade econômica por realizar um detalhamento parcial do produto; no entanto, este detalhamento parcial já

concede uma visão bem definida sobre o impacto causado pela utilização desta ferramenta no PDP.

### 3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A construção da ferramenta proposta neste trabalho se deu através da combinação entre os assuntos *Stage-gate*, *Set-based* e estratégias de fim de vida sustentáveis. O modelo de *Stage-gate* foi adaptado para abrigar a abordagem de *Set-based*, e o processo de *gate-review* foi reformulado a partir da incorporação de estratégias de fim de vida sustentáveis. Nos itens seguintes, os passos para a confecção da ferramenta estão descritos seguindo o progresso do desenvolvimento do trabalho.

Considerando a complexidade de um PDP que utilize todas as diretrizes propostas, a confecção de uma ferramenta de aplicação deste modelo deve passar primeiro pela estruturação dos pacotes e atividades a serem completadas, desdobradas a partir dos objetivos específicos, para que se possa planejar a confecção do protótipo proposto de maneira ordenada. Esta seção está organizada conforme esses objetivos específicos (entregas), descritos na Tabela 5 juntamente com os pacotes e as tarefas necessárias para finalização da pesquisa.

**Tabela 5 – Entregas, pacotes e atividades necessárias para a finalização da pesquisa.**

(continua)

No.	ENTREGA	No.	PACOTE	No.	ATIVIDADE
1.	Modelo aperfeiçoado para o PDP a partir de <i>Stage-gate</i>	1.1	Revisão de conteúdo previamente publicado	1.1.1	Pesquisar <i>Set-based</i>
				1.1.2	Pesquisar <i>Stage-gate</i>
				1.1.3	Pesquisar Sustentabilidade
				1.1.4	Pesquisar ACV e ferramentas
				1.1.5	Pesquisar associações entre os assuntos pesquisados
		1.2	Geração de um modelo de PDP da combinação entre <i>Stage-gate</i> e <i>Set-based</i> ;	1.2.1	Definir escopo do trabalho
				1.2.2	Traduzir as linguagens de <i>Set-based</i> ,
				1.2.3	Caracterizar o modelo aperfeiçoado através de um fluxograma;
		1.3	Inserção de premissas de fim de vida sustentável no modelo aperfeiçoado	1.3.1	Selecionar e incorporar estas estratégias dentro do modelo aperfeiçoado;
				1.3.2	Separar as métricas entre dependentes e independentes da natureza do produto;
				1.3.3	Definir valores-objetivo para as métricas independentes, para os níveis de sustentabilidade;

Tabela 5 – Entregas, pacotes e atividades necessárias para a finalização da pesquisa.

(conclusão)

No.	ENTREGA	No.	PACOTE	No.	ATIVIDADE
1.	Modelo aperfeiçoado para o PDP a partir de <i>Stage-gate</i>	1.3	Inserção de premissas de fim de vida sustentável no modelo aperfeiçoado	1.3.4	Definir método de avaliação para as especificações cumpridas;
2.	Protótipo da ferramenta	2.1	Definição da flexibilidade da ferramenta	2.1.1	Estabelecer níveis de comprometimento com a sustentabilidade;
				2.1.2	Definir a pontuação para o atingimento de cada métrica de fim de vida para cada nível de sustentabilidade
		2.2	Definição da estrutura de funcionamento	2.2.1	Estabelecer estrutura de funcionamento de acordo com o modelo aperfeiçoado proposto;
				2.2.2	Definir a plataforma de <i>software</i> a ser utilizada
		2.3	Desenvolvimento do conteúdo	2.3.1	Desenvolver planilha de inserção de dados de entrada
				2.3.2	Desenvolver planilha de critérios e métricas
				2.3.3	Desenvolver planilhas de inserção dos resultados
				2.3.4	Inserir links entre as planilhas para automatizar tarefas
				2.3.5	Gates 3 e 4: inserir verificações por ferramentas de ACV
				2.3.6	Definir pontuação de corte para cada <i>gate-review</i>
3.	Eficiência da ferramenta-protótipo	3.1	Definição do produto a ser estudado	3.1.1	Escolher produto
				3.1.2	Definir exemplificação do produto a ser utilizado como referência
				3.1.4	Realizar a coleta de informações a respeito do produto;
				3.1.5	Definir objetivos para as métricas de fim de vida dependentes e nível de sustentabilidade;
		3.2	Realização de um PDP de um novo banco, utilizando-se da ferramenta	3.2.1	Descrever o Caso e Realização de PDP.

### 3.2.1 Preparação de Modelo

Esta seção descreve como o modelo proposto foi criado a partir das revisões dos conteúdos pertinentes e da compreensão de como eles poderiam se encaixar, formando um novo modelo que englobasse as principais características de cada assunto, além de permitir um funcionamento alinhado com os princípios de cada assunto.

A primeira etapa a ser cumprida foi a realização de uma revisão de conteúdo de todos os assuntos implicados neste trabalho com o objetivo de construir uma base de conhecimento sobre cada um deles. Todo este conteúdo está compilado no capítulo 2.

Esta revisão foi realizada utilizando-se de mecanismos de busca da internet *Google, Google Scholar, Scopus, IEEE Explore, Emerald*, Periódicos Capes e Biblioteca Digital do IBICT, no período de Setembro de 2011 a Março de 2012. As palavras-chave utilizadas estão relacionadas na Tabela 6.

**Tabela 6 – Strings de Pesquisa.**

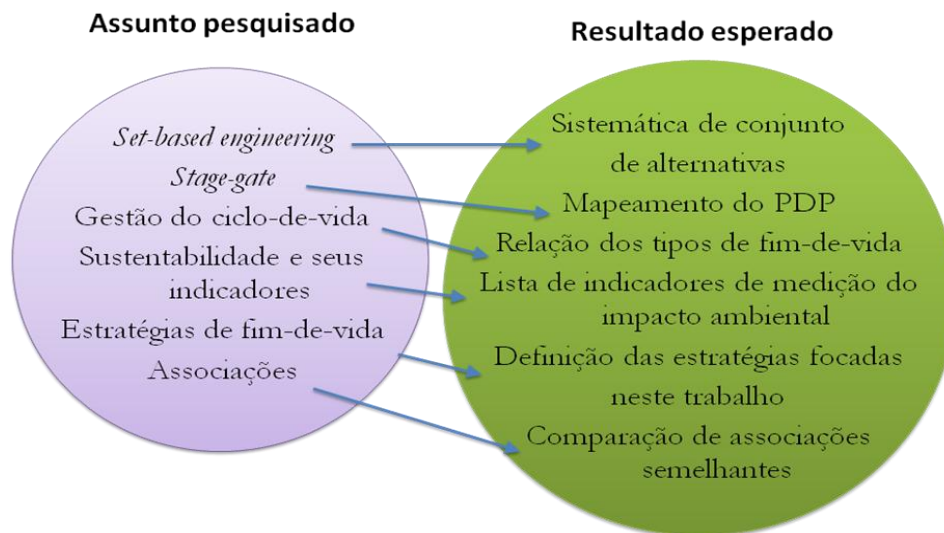
Palavras-chave de pesquisa	
<i>end-of-life design</i>	características de produtos fim de vida
<i>design for end-of-life</i>	<i>lifecycle engineering</i>
<i>WEEE and RoHS legislations</i>	<i>ecoindicator</i>
Estratégias de fim de vida	<i>willingness to pay</i>
<i>key characteristics</i>	Plano Nacional de Resíduos Sólidos
<i>lifecycle management</i>	consciência sustentável
<i>Directive 2000/53/EC on end-of-life vehicles</i>	<i>sustainability level of importance for consumers</i>
	nível de importância cliente
	sustentabilidade

O modelo de desenvolvimento de produto escolhido para este trabalho foi o *Stage-gate*, devido à grande adesão por parte das indústrias à esse método, o que torna este trabalho mais acessível, pois tira proveito da utilização de uma linguagem familiar dentre estas indústrias. Além disso, a flexibilidade e fácil entendimento também fortaleceram a decisão pela escolha.

Em termos de Ciclo de Vida, como o foco desta pesquisa refere-se Projeto de um Produto para o Fim de Vida, a fase escolhida foi a de **médio/longo prazo**, por tratar de inserir as estratégias de fim de vida durante um processo de desenvolvimento.

Ao fim da revisão bibliográfica, obteve-se uma base de informações contemplando todos os assuntos envolvidos neste trabalho. A partir desta base de informações, foi possível entender as correlações possíveis e as diferenças entre estes assuntos, para então poder determinar o modo de funcionamento e o encaixe dentro da plataforma de *Stage-gate*, cujo processo está melhor detalhado na seção seguinte.

Os assuntos compilados no capítulo 2 estão listados na Figura 11, correlacionados com os resultado esperados a partir da revisão.



**Figura 11 – Relação entre os assuntos pesquisados e resultados esperados.**

### 3.2.1.1 Geração do Modelo

A próxima decisão a ser tomada foi definir o escopo de trabalho dentro do PDP, a partir da linguagem de *Stage-gate*. Seu escopo foi definido de acordo com os princípios de **declaração de escopo**, conforme a Tabela 7:

**Tabela 7 - Escopo da pesquisa**

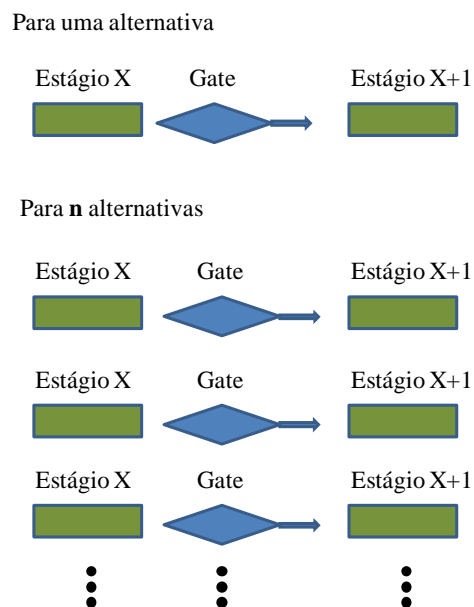
<b>Ciclo de Vida</b>	<b>Exclusões do Escopo</b>	<b>Pertencem ao escopo</b>
<i>Set-based</i>	-	Abordagem, estrutura, conceitos e regras
<i>Stage-gate</i>	Quinto estágio em diante (Testes e validação, Produção em Massa e Lançamento no Mercado e Avaliação Pós-Implementação)	Estágio de Geração de idéias até o gate-review 4
Ciclo de Vida	Fase de curto período	Fase de médio/longo prazo
Projeto para o Ciclo de vida	Projeto para outras fases do ciclo de vida	Projeto para o fim de vida estratégias de fim de vida
ACV	Pré-produção, produção, Distribuição, Uso.	Análise de inventario Avaliação de impacto Descarte <i>ECO-Indicator</i> SimaPRO

Como este trabalho foca na fase de concepção do produto, as etapas descritas no modelo que tratam da industrialização do produto não seriam pertinentes a esta iniciativa, neste caso, o período que consiste do quarto estágio de desenvolvimento em diante (**Testes e**

**validação, Produção em Massa e Lançamento no Mercado e Avaliação Pós-Implementação)** encontra-se fora do escopo, pois o trabalho de concepção de produto e processo já estaria finalizado e com meios de fabricação definitivos já encomendados. Estas etapas sugerem um grau de investimento muito grande; não faria sentido econômico realizá-lo para mais de uma alternativa. As etapas de desenvolvimento normalmente seriam desconsideradas também, não fosse a natureza da abordagem *Set-based*, que prevê a definição da alternativa a ser industrializada apenas nas fases finais de desenvolvimento.

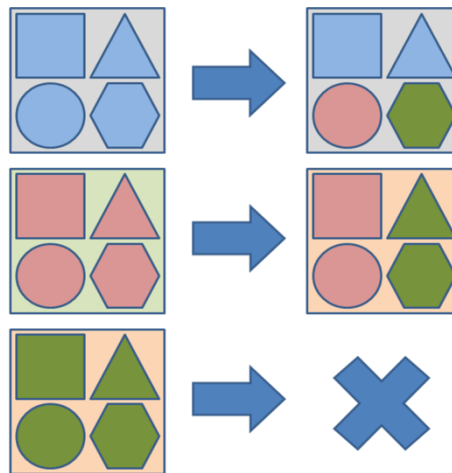
Conforme revisto no item 2.3, o modelo original de SG (com filosofia *point-based*) prevê quatro decisões possíveis a partir da avaliação realizada nos *gate-reviews*: *go*, *kill*, *hold* e *recycle*. Estas decisões são tomadas após a avaliação do desempenho do produto. De acordo com a abordagem *Set-based*, várias alternativas são avaliadas dentro de um *gate-review*. A Figura 12 mostra a expansão do conceito estágios-portais do SG. Normalmente realizado para uma alternativa, neste caso ele acontece para mais de uma, de acordo com a abordagem SBD. Assim, em um estágio qualquer, a equipe de desenvolvimento está envolvida com o projeto e execução de atividades relacionadas com várias alternativas.

No *gate-review*, alternativas são avaliadas da mesma maneira como no modelo original, com a diferença que, no modelo aperfeiçoado, mais de uma alternativa prossegue para as próximas fases. Pela filosofia *Set-based*, a partir de um critério abrangente, várias alternativas são aprovadas e participam da etapa subsequente do projeto. Este processo se repete nos estágios seguintes até o *gate-review* 4, onde finalmente escolhe-se apenas uma alternativa.



**Figura 12 – Sistema de gate-review para uma e para n alternativas.**

Após o término de um estágio de desenvolvimento, as alternativas – e subsistemas – são avaliadas e comparadas entre si. A partir desta comparação, verifica-se quais sistemas possuem um desempenho melhor a partir dos critérios adotados no princípio do desenvolvimento. Isto será útil nos casos onde a alternativa X é melhor que a Y, porém o subsistema W da alternativa Y é melhor (nesta hipótese, a alternativa Y será descartada). Neste caso, decide-se pela migração do sistema citado da alternativa Y para a X, ficando agora a alternativa X com o sistema W da alternativa Y. Esta situação está representada na Figura 13.



**Figura 13 – Diagrama de intercâmbio de sistemas entre diferentes soluções.**

Durante a avaliação das atividades concluídas realizada no *gate-review* após um estágio de desenvolvimento, as alternativas devem ser confrontadas com um conjunto de métricas com o objetivo de verificar se elas estão convergindo para se tornarem o produto desejado pela companhia. Nesta pesquisa, o objetivo é que este produto tenha um fim de vida o menos nocivo possível para o meio ambiente. Como foi possível então garantir que o desenvolvimento levou o produto a cumprir tal objetivo?

Primeiro foi preciso determinar o significado de um produto com “fim de vida sustentável”. Esta resposta depende de diversos fatores, mas, basicamente, um produto com fim de vida sustentável é aquele desenvolvido a partir de premissas que levam à realização das tarefas de desenvolvimento que atribuirão características pouco ou nada agressivas ao meio ambiente, ao final do ciclo de vida.

Estas premissas se materializam em estratégias para que o desenvolvimento do produto possa ser controlado a ponto de produzir os resultados esperados. Porém, deve-se tomar cuidado, pois cada estágio de desenvolvimento apresenta o conjunto de alternativas em um grau de detalhamento crescente, a partir dos estágios iniciais. A realização de uma ACV

durante as fases iniciais de projeto fica inviabilizada, pois ela precisa de dados que são coletados apenas durante a fase de uso do produto, como por exemplo, consumo de energia (ROSE; STEVELS; ISHII, 2000).

Mesmo assim, é possível que se determine alguns espaços de desenvolvimento desde as fases preliminares, conforme preconizado pela abordagem *Set-based*. Estes espaços são determinados com base em estratégias para o fim de vida adequadas a serem utilizadas nestas fases preliminares.

### 3.2.1.2 Inserção das Premissas de Fim de Vida

A partir da metodologia SG e os *gate-reviews*, pode-se concluir que a definição dos critérios de passagem para a realização dos *gate-reviews* é de extrema importância na realização do objetivo proposto, que não podem ser restritivos a ponto de permitirem o avanço de apenas uma solução ao estágio subsequente, permitindo a continuação do desenvolvimento de mais de uma alternativa, desde que atendam as premissas estabelecidas (a exceção ocorre no último *gate-review*, que irá permitir que apenas uma alternativa seja conduzida ao estágio de Testes e Validação).

A definição desses critérios foi baseada na lista oriunda de Saavedra (2010) e desdobrada em **especificações de fim de vida**, que foram alocadas nas etapas pertinentes a partir da ótica de desenvolvimento do modelo *Stage-gate* e fases (item 2.3.1), sempre com a abordagem de se antecipar alguma atividade se o nível de detalhamento da fase permitisse.

A seguir, as especificações de fim de vida foram divididas em **dependentes** – que estão relacionadas às características do produto e precisam ser definidas pela projetista – e **independentes** – aquelas que não dependem da natureza do produto a ser desenvolvido. Para as independentes, valores para as métricas poderiam ser definidas para qualquer situação ou produto. Para as dependentes, valores só poderiam ser definidos a partir da natureza do produto. Seria impossível defini-los para estas métricas antes de se saber exatamente qual era o tipo de produto a ser desenvolvido.

Para cada especificação independente foram atribuídas três métricas diferentes e progressivas, de acordo com o nível de sustentabilidade em questão. Por exemplo, ao se realizar o desenvolvimento de um produto **H**, a especificação **% de componentes**



**reutilizados** recebeu uma métrica de **no mínimo 10** no nível III, **15** no nível II e **20** componentes no nível I. Assim, conforme a empresa opta por elevar o nível de sustentabilidade, ela é estimulada a melhorar o desempenho em um especificação de fim de vida, de acordo com a estratégia que a empresa queira adotar. A lista completa das especificações dependentes e independentes pode ser encontrada no Apêndice A. Já as especificações dependentes foram agrupadas e suas métricas devem ser definidas pelos projetistas no início de cada estágio de desenvolvimento, levando-se também em consideração o nível de sustentabilidade no qual a empresa está engajada.

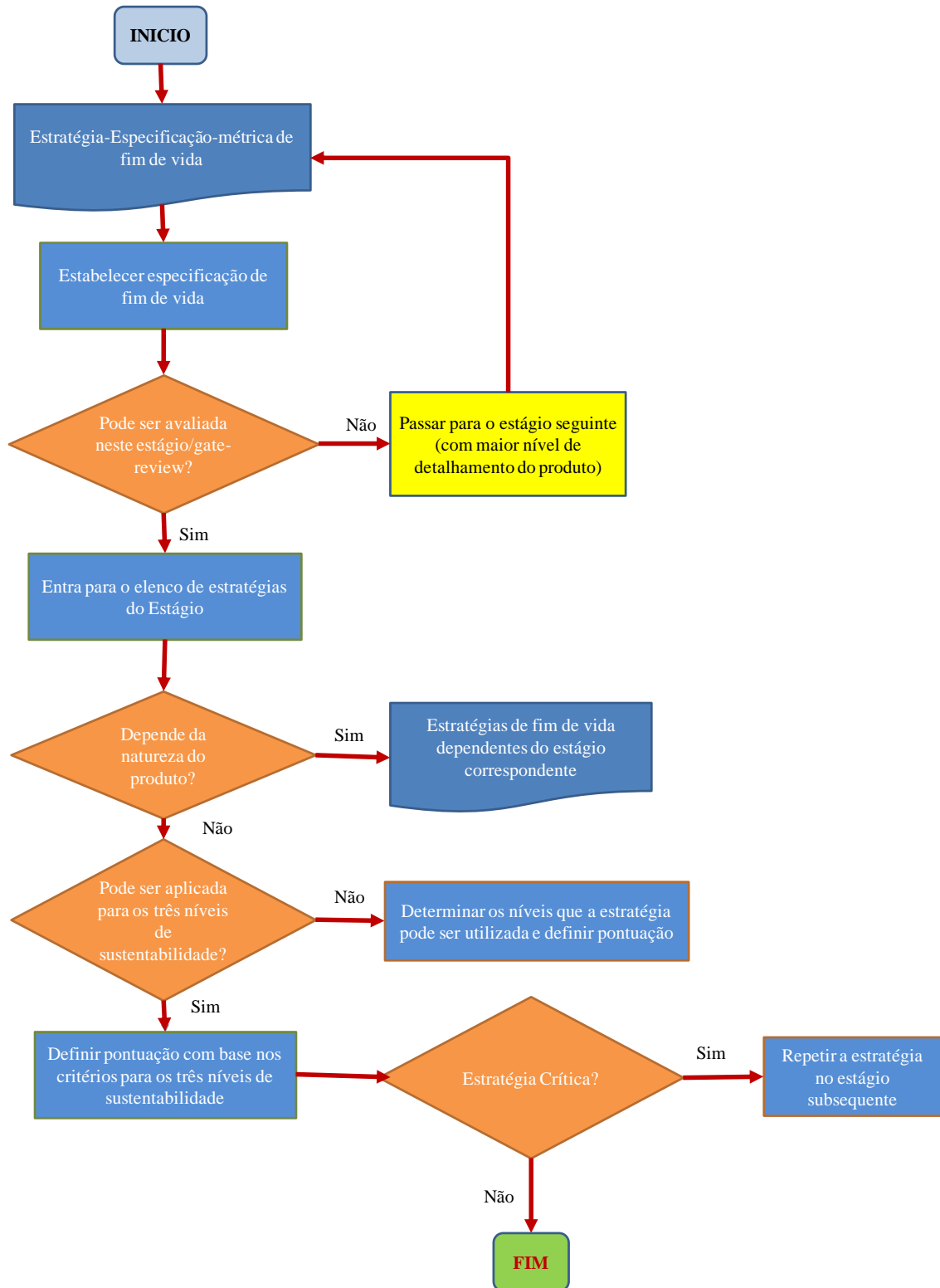
Para que se pudesse sintetizar o desempenho sustentável das alternativas em avaliação, foi adotado um sistema de bonificação, onde cada alternativa seria avaliada para cada especificação de fim de vida, em função da métrica estabelecida. Em caso de atendimento à métrica, uma pontuação seria atribuída à alternativa em questão; em caso de não atendimento, a alternativa deixaria de receber a pontuação. Assim, o desempenho sustentável de uma alternativa poderia ser verificado a partir da soma de todas as pontuações obtidas para cada especificação de fim de vida. Seria possível então comparar o desempenho de várias alternativas no processo de *gate-review*.

Algumas estratégias de maior importância são repetidas através dos estágios para que os produtos, depois de passar por mais um estágio onde sofreram evoluções e eventuais modificações, fossem novamente avaliados para verificar se não houve algum desvio daquela característica. Todas estas atividades e decisões estão representadas no fluxograma contido Figura 14. Os critérios para a determinação da pontuação estão descritos nas seções a seguir.

### **3.2.2 Protótipo – Desenvolvimento**

Após a construção do modelo aperfeiçoado ter sido concluída, foi o momento de preparar uma ferramenta de apoio aos projetistas de produto que traduzisse as premissas apresentadas neste modelo de maneira a permitir a utilização em um PDP.

O primeiro passo foi determinar que esta ferramenta deveria possuir certa flexibilidade, por conta do impacto gerado nas empresas com a chegada de princípios sustentáveis. Na próxima seção, será visto como isto foi traduzido para a ferramenta.



**Figura 14 – Fluxograma de locação, classificação e pontuação das estratégias de fim de vida.**

Levando-se em conta a realidade econômica das empresas e a ascensão gradativa dos princípios sustentáveis, esta ferramenta buscou uma certa flexibilidade para aumentar a viabilidade de aplicação. Como o grau de compromisso com a sustentabilidade varia de

empresa para empresa indo desde o completo descaso até o compromisso total, a ferramenta foi desenvolvida para apresentar **três níveis** de comprometimento com a sustentabilidade: o **nível 1** se aplica a empresas que praticamente não possuem iniciativa para a proteção ambiental, caracterizando-se então por ser o “primeiro degrau” para adaptarem a cultura empresarial atual às novas tendências sustentáveis de desenvolvimento de produto. O **nível 2** foi concebido para empresas que já possuem iniciativas sustentáveis e caminham neste sentido, mas que ainda não conseguem se livrar totalmente da pressão por resultados econômicos imediatos e da priorização pelo custo produtivo no formato de cálculo usual. O **nível 3** se aplica àquelas empresas que já possuem uma cultura de sustentabilidade bem desenvolvida e buscam objetivos sustentáveis cada vez mais agressivos, mantendo uma contínua evolução nos PDPs.

Após a definição dos níveis, cada especificação de fim de vida recebeu uma pontuação para que as alternativas pudessem ser ranqueadas de acordo com a capacidade de cumprir estas especificações. Para isso, todas as especificações de fim de vida foram avaliadas em função de quatro critérios: i) **grau de recuperação do produto** – a influência que a estratégia exerce sobre o potencial de recuperação do produto; ii) o quanto a estratégia impacta na **extensão do ciclo de vida** do produto; iii) o **impacto econômico** que o respeito a tal especificação gera no desenvolvimento e iv) o **benefício ambiental** que a estratégia proporciona.

Cada uma das especificações de fim de vida recebeu uma pontuação de 0 a 5 de acordo com o nível de contribuição em cada critério, sendo 0 para “nenhuma contribuição”, 1 para “contribuição muito baixa”, 2 para “contribuição baixa”, 3 para “contribuição média”, 4 para “contribuição boa” 5 para “contribuição excelente”. Para o critério de impacto econômico o raciocínio se inverte; cada especificação recebeu uma pontuação negativa, de 0 a -5, onde -5 significa “alto impacto econômico”, -4 “médio impacto econômico”, -3 “impacto econômico moderado, -2 “baixo impacto econômico e -1, “impacto econômico muito baixo. O Quadro 1 contém um exemplo de uma característica e respectiva pontuação. O restante das características e pontuações para as especificações se encontra no Apêndice A.

**Quadro 1 – Pontuação estipulada para o atendimento da especificação “tempo de desmontagem”.**

Especificação	Grau de recuperação do produto	Extensão do ciclo de vida	Impacto econômico	Benefícios ambientais	SOMA
Tempo de desmontagem	3	3	-2	3	7

Para estabelecer a pontuação de corte de cada estágio, primeiro verificou-se a pontuação máxima possível a ser atingida por uma alternativa que pontuasse em todas as especificações. Por exemplo, para o primeiro estágio a pontuação máxima que pode ser atingida é de 78 pontos para o nível III, e 64 pontos para os níveis I e II. A Tabela 8 contempla as pontuações máximas possíveis para cada estágio de desenvolvimento, para os três níveis de sustentabilidade.

**Tabela 8 – Pontuação máxima por estágio e *gate-review***

<b>Estágio</b>	<b>Nível I</b>	<b>Nível II</b>	<b>Nível III</b>
Geração de Idéias - Gate 1	64	64	78
Primeiro Estágio - Gate 2	119	119	119
Segundo estágio - Gate 3	175	227	245
Terceiro estágio - Gate 4	84	160	170

As diferenças entre pontuações devem-se ao fato de que algumas estratégias não participam dos três níveis de sustentabilidade; isto ocorre apenas no Primeiro Estágio.

A título de classificação das alternativas, assumiu-se então um índice mínimo de atendimento de 45% das características solicitadas. A determinação do índice de atendimento pode ser estipulada pela organização levando em consideração o contexto na qual o produto está sendo desenvolvido, além de outros fatores. As alternativas que atingirem mais de 29 pontos passarão ao segundo estágio. Essa informação deve permanecer restrita a poucos envolvidos no projeto (de preferência, da alta gerência), caso contrário, os projetistas podem ser desestimulados a ponto de se esforçarem apenas para atingir a pontuação mínima.

O mesmo se dá para os estágios subsequentes. Como a ideia é que cada vez menos alternativas passem para o estágio seguinte, pode-se aumentar esta taxa de atendimento para o segundo estágio, para 70%. Isso significa que uma alternativa deve atingir 83 pontos para seguir em frente. Já para a realização do terceiro estágio pode-se adotar um outro critério de passagem: apenas as duas (ou três) alternativas melhores qualificadas devem seguir adiante. Após a realização do quarto estágio, apenas a alternativa a ser industrializada deverá restar.

É importante ressaltar que a pontuação serve como referência e apoio para a tomada de decisão. Deve haver sempre espaço para discussão e, caso alguma alternativa apresente argumentos qualitativos suficientes e for da vontade dos envolvidos no projeto, então esta alternativa pode (e deve) ser conduzida para o próximo estágio de desenvolvimento.

### 3.2.2.1 Estrutura de Funcionamento da Ferramenta

Após a estruturação do método aperfeiçoado, surgiu a necessidade de se desenvolver uma ferramenta que auxiliasse a condução do desenvolvimento através desta metodologia melhorando a organização e visualização das informações para apoio às tomadas de decisão que ocorrem no *gate-review*, após a coleta dos dados referentes às alternativas participantes de um PDP. O diagrama mostrado na Figura 15 foi construindo a partir do modelo proposto.



**Figura 15 - Fluxograma de sequência de atividades para aplicação da ferramenta.**

A utilização da ferramenta inicia com uma tela inicial, organizada conforme o diagrama resultante. A partir dali, o projetista, ao iniciar as atividades do estágio sobre o qual está trabalhando, preenche as métricas para as especificações dependentes e executa as outras atividades conforme detalhado no quadro “Início do Estágio” na Figura 15.

A partir daí, o projetista executa todas as atividades de projeto com base nas premissas definidas pela ferramenta, que irá direcionar o desempenho do produto. Assim, ao final do estágio, o projetista volta à ferramenta para preencher os resultados para as especificações. Ali, cada alternativa receberá uma pontuação de acordo com o atingimento das métricas estabelecidas anteriormente. Uma síntese deve ser gerada contendo as pontuações para cada alternativa e cada especificação, de maneira que seja possível compará-las em relação à pontuação de corte. Durante a reunião de *gate-review*, estes desempenhos são discutidos e as alternativas que devem passar para o estágio seguinte são selecionadas com base em sua pontuação e no resultado das discussões sobre os prós e contras de cada uma.

Após a seleção dessas alternativas, um novo estágio inicia com a repetição das atividades até a realização do terceiro estágio, que irá levar ao quarto *gate-review*, onde apenas uma alternativa deve restar para o processo de industrialização.

### 3.2.2.2 Desenvolvimento do conteúdo

A manipulação de todas as especificações para cada alternativa, cada estágio, cada nível de sustentabilidade através de tabelas traria uma dificuldade muito grande para organização e isto inviabilizaria a aplicação de tal método, como proposto. Para contornar esta dificuldade, foi lançada mão da ajuda de ferramentas de automatização, ou seja, *softwares* de auxílio a manipulação de banco de dados e altos volumes de informação, como o *Excel* e o *Visual Basic (VBA)*.

Para cada um dos quatro estágios de desenvolvimento, foi desenvolvido uma planilha em Excel que contém as abas “QUESTIONÁRIO”, onde estão descritas as especificações dependentes, os botões para a seleção do nível de sustentabilidade desejado e o botão para a definição do número de alternativas em desenvolvimento no estágio, a aba “RESULTADOS”, que contém as especificações de fim de vida do estágio correspondente, a aba “Síntese”, que contém um resumo dos resultados de todas as alternativas desenvolvidas naquele estágio, e as abas auxiliares, “opções” e “critérios”. Para estas planilhas, foram utilizadas macros e programação em VBA para se conseguir uma automação mínima, com o propósito de simular um protótipo de um programa que opere a partir desta lógica.

Para o endereçamento correto das métricas para as especificações a partir da escolha do nível de sustentabilidade, foram criadas macros para cada um dos respectivos botões de seleção; quando o usuário aperta o botão do **Nível I**, por exemplo, uma macro é disparada realizando a adequação das fichas de avaliação conforme o nível selecionado, endereçando as fórmulas e valores referentes ao nível selecionado para cada um dos *Gates* de avaliação.

Para a ficha de síntese, pontuações de corte são definidas conforme a seção anterior e se traduzem em formatação condicional dentro da planilha. As alternativas que atingem a pontuação de corte ou a superam tem a célula de Total na aba Síntese pintada de verde.

Um item foi inserido no *Gate 3* para a avaliação mais profunda das matérias-primas das alternativas, após o Segundo Estágio, que possui um nível de detalhamento maior das alternativas; cada uma delas foi avaliada em função da utilização de matérias-primas e um cenário de reutilização, partindo-se da base de pontuação da *Eco-indicator 99*, por meio do preenchimento da planilha mostrada na Figura 16.

COMPOSIÇÃO DO PRODUTO								
Matéria-prima	Unidade	Impacto	Qtde	Total impacto	Destino?	Pontuação	Pontuação total / MP	PONTUAÇÃO TOTAL
							<b>TOTAL</b>	<b>0</b>

Figura 16 – Quadro para preenchimento das matérias-primas utilizadas para cada alternativa.

Neste quadro são preenchidas informações referentes as matérias-primas; uma explicação mais detalhada pode ser encontrada no Apêndice C. A pontuação total é dada na última linha do quadro. Como padrão, as células que recebem os dados inseridos manualmente pelo projetista apresentarão uma cor de tom escuro.

Para a avaliação das alternativas a respeito da utilização e aproveitamento de fim de vida dos componentes, foi necessária uma adaptação da lista oficial de *Eco-indicator* para as estratégias de fim de vida mais sofisticadas. Para isso, foi utilizado o seguinte critério: as peças que fossem puramente reutilizadas teriam a pontuação diametralmente inversa à pontuação necessária para a fabricação daquele componente. Assim, o material/componente que foi concebido para ser reutilizado recebeu um coeficiente de recuperação de 0,9 do total gasto para a produção. Os componentes/materiais reutilizados após reparo ou manutenção recebem um grau de recuperação de 0,8. Já os remanufaturados recuperam 0,65 da energia despendida originalmente.

Para o terceiro estágio de desenvolvimento, foi introduzido um comparativo entre as alternativas através da ferramenta SimaPRO, como uma forma de entender toda a estratégia de fim de vida para cada alternativa e também com o objetivo de se medir o benefício da utilização desta ferramenta em um desenvolvimento de produto. Assim, os dados relativos à fabricação foram inseridos no SimaPRO para a realização das alternativas em desenvolvimento. Para o estudo de caso, também foram inseridos os dados relativos à

fabricação do produto atual para realização de comparativo entre o produto atual e as alternativas resultantes do desenvolvimento. Além dos dados de fabricação, foram inseridos também os cenários de destino final e as reutilizações definidas conforme os estágios anteriores de desenvolvimento. Para a realização dos comparativos, foi utilizado o método de avaliação **Eco-indicator 99 (E) V2.06 / Europe EI99 E/E**, indicado para perspectivas de longo prazo.

### **3.2.3 Funcionamento da Ferramenta-protótipo**

Para demonstrar o funcionamento da ferramenta, a realização de um desenvolvimento hipotético foi proposta para exemplificação da utilização da ferramenta, demonstração dos resultados que ela proporciona e verificação dos benefícios que ela traz ao produto final.

Esta seção descreve o produto escolhido para realização do exemplo, a descrição de como as informações foram coletadas e organizadas com base em um produto atual, como o desenvolvimento de um novo produto será conduzido utilizando-se a ferramenta aqui apresentada e uma breve contextualização de como esta fase do desenvolvimento se apresenta dentro do fluxo de desenvolvimento de um novo automóvel.

#### **3.2.3.1 Produto a Ser Estudado: Banco de Automóvel**

O produto escolhido como objeto deste estudo é um banco de automóvel, devido a familiaridade do autor com este tipo de produto. O banco é considerado um subsistema de um veículo de transporte – que aparece no ranking como o 59º produto de mais alta complexidade segundo Abdon et al. (2010). Em uma escala menor, a complexidade de um banco é semelhante à do automóvel. Neste caso, pode-se assumir que a complexidade é média. Além disso, a construção de um banco envolve processos de fabricação os mais diversos (usinagem, soldagem, montagem, pintura, injeção de plástico, e assim por diante) para uma variedade



grande de matérias-primas (espuma, aço, plástico, tecido,...), possibilitando um espectro bastante rico para a exploração da ferramenta.

Este banco foi completamente dissecado e analisado para a coleta de todos os dados pertinentes à fabricação. Além disso, o banco foi subdividido em subsistemas para facilitar a gestão, devido ao alto número de componentes. Esta divisão é similar à utilizada pelos fabricantes de bancos, e dez subsistemas estão listados na Tabela 9.

**Tabela 9 – Lista de subsistemas do banco a ser estudado.**

<b>Produto</b>	<b>Subsistema</b>
Banco Motorista	Estrutura Metálica do Encosto
	Estrutura Metálica do Assento
	Estofamento encosto
	Estofamento assento
	Espuma Encosto
	Espuma Assento
	Suporte inferior do assento
	Apoio-Cabeça
	Tampas Plásticas
	Tampas dos Mecanismos

O banco selecionado é um modelo de Banco do Motorista, de um veículo do tipo van de transporte, conforme a Figura 17.



**Figura 17 – a) Banco do Motorista instalado no veículo e b) vista frontal do banco.**

Os dados coletados sobre este banco foram catalogados de acordo com os critérios de fim de vida utilizados neste trabalho e serviram como ponto de partida para a definição das especificações a serem utilizadas para o desenvolvimento do novo banco.

### 3.2.3.2 Definição dos Objetivos Para Métricas de Fim de Vida

O banco apresentado na Figura 17 foi dissecado e as peças foram analisadas e catalogadas. Este banco foi comparado com o produto resultante após o final do processo para verificar se a ferramenta poderia trazer valor agregado verdadeiro para o desenvolvimento de produto. Com base nos dados coletados, foram definidos objetivos para as especificações dependentes. O critério utilizado foi em se melhorar ligeiramente as características do produto, em consonância com a estratégia sustentável de pouca agressividade. A Tabela 10 contempla os valores encontrados para o banco de referência e os objetivos definidos para o Estudo de Caso.

**Tabela 10 - Resultados para as especificações de fim de vida do banco atual e objetivos.**

GATE	CRITÉRIO	ESPECIFICAÇÃO			UNIDADE
		Critério	Banco Atual	Obj. PDP	
Gate 1	Tempo de desmontagem	menor ou igual a	33	30	Minutos
	Quantidade de materiais diferentes	menor ou igual a	42	35	Materiais
	Peso	menor ou igual a	28	26	Kg
	Volume	menor ou igual a	48	48	x0,01 m <sup>3</sup>
	Quantidade de materiais tóxicos	menor ou igual a	1	0	material(is)
Gate 2	Total de componentes	menor ou igual a	104	95	Componentes
	Total de módulos	maior ou igual a	12	4	Módulos
	Quantidade de adesivos no produto	menor ou igual a	5	5	Adesivos
	$\Delta$ VU = Delta vida útil mat. Mais resistente - menos resistente)	menor ou igual a	45	35	adimensional
Gate 3	QPRM = Quantidade peças plásticas com reforço metálico	menor ou igual a	2	5	%
	QEF = Quantidade de elementos de fixação/junção	menor ou igual a	17	15	Elementos
	ETSS = Extensão total de superfície soldada (metro linear)	menor ou igual a	11	10	m
	Tempo de limpeza necessário	menor ou igual a	18	16	Minutos
	$\Delta$ C = Comparativo entre menor ciclo de vida de componente durável x maior ciclo de vida de componente auxiliar	maior ou igual a	15	15	Anos

Gate 4	IACQ - Índice de amigabilidade dos componentes químicos presentes (1 - todos os químicos amigáveis)	maior ou igual a	1	1	adimensional
	RPPL = razão entre quanto componentes/quantidade produto limpeza	maior ou igual a	35	40	adimensional
	ECO = índice resultante dos cálculos para o produto	menor ou igual a	37	30	x100 (adimensional)
	área de superfície lisa	maior ou igual a	64	65	x 0,01 m <sup>2</sup>
	Número de componentes com rastreabilidade	maior ou igual a	37	40	Componentes
	Tempo de desmontagem / remontagem	menor ou igual a	78	75	Minutos
	CR = % dos componentes que resistiram no ensaio de agentes de limpeza	menor ou igual a	90	90	%
	Análise no SimaPro	menor ou igual a	819	800	x0,01 pt

### 3.2.3.3 Contextualização do PDP de um Novo Banco

Este caso hipotético trata do desenvolvimento de banco de veículo de transporte. Esta simulação parte do princípio que este banco é geralmente desenvolvido por um **sistemista** (fornecedor direto de componente/produto para uma montadora). Este sistemista recebe as entradas de informação (i.e. requisitos, objetivos, métricas) da montadora para iniciar o projeto do banco. O sistemista apresenta um método de desenvolvimento de produto baseado em *Stage-gate* e aderiu à utilização da ferramenta proposta, utilizando-se do nível I de sustentabilidade justamente devido à ser sua primeira iniciativa em busca do desenvolvimento sustentável.

A partir disso, o sistemista entra numa concorrência com outros fabricantes de bancos até que um deles vença e seja nomeado oficialmente como o fornecedor do produto. A partir deste ponto começa então o exemplo presente neste trabalho; o fornecedor já recebeu a nomeação e pode ocupar-se definitivamente do desenvolvimento. Isto possibilita o intercâmbio entre sistemas de alternativas diferentes, caso haja a oportunidade.

Este sistemista realiza o desenvolvimento do banco com o auxílio da ferramenta proposta através dos estágios de desenvolvimento. Alternativas são concebidas, avaliadas e descartadas ou aprovadas de acordo com os resultados.

\*\*\*

A seguir, os resultados deste trabalho são apresentados, iniciando-se com uma explicação da utilização da ferramenta e na sequência os resultados do estudo de caso estão

detalhados, contemplando os cinco estágios e *gates* de decisão pelos quais o banco passou, até a decisão pelo conceito final.

## 4 RESULTADOS

Este capítulo traz os resultados do trabalho, iniciando pela verificação dos assuntos envolvidos e os resultados esperados, passando por uma explicação voltada aos projetistas de produto de como utilizar a ferramenta, e terminando na condução do PDP para o banco de automóvel proposto como estudo de caso, para cada um dos *Gates* de desenvolvimento.

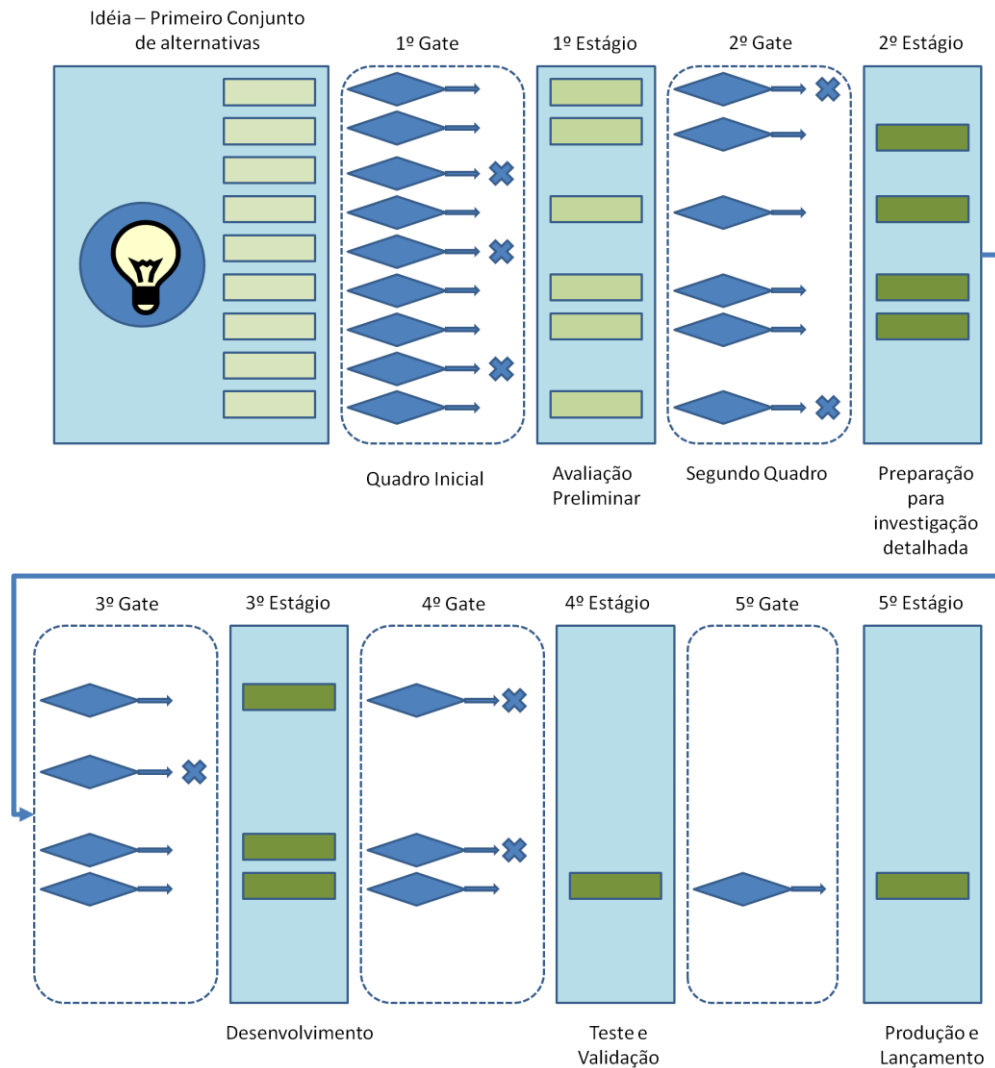
### 4.1 MODELO RESULTANTE E ESTRUTURA DA FERRAMENTA

Na Figura 18, é possível verificar como os estágios se desdobram a partir desta nova abordagem de maneira diferente da abordagem original, onde apenas uma alternativa era conduzida através do processo de desenvolvimento sendo sujeita várias a iterações com a finalidade de corrigir problemas e implementar modificações; agora, a definição do produto está condicionada à verificação e comparação dos resultados encontrados nos vários desenvolvimentos paralelos – durante os *gate-reviews*. A partir desta comparação, é possível até que estas alternativas sofram intercâmbio de subsistemas.

As estratégias de fim de vida foram alocadas dentro desta perspectiva de *Stage-gate* de acordo com o progresso do detalhamento das alternativas. Na próxima seção, estão listadas as estratégias de fim de vida, separadas por cada estágio, do primeiro ao quarto.

### 4.2 ALOCAÇÃO DOS CRITÉRIOS ATRAVÉS DAS FASES

A seguir, os Quadros 2 a 5 contém as estratégias e especificações de fim de vida distribuídas entre os quatro Estágios/*Gates* do modelo *Stage-gate*. Oriundas de Saavedra (2010), estão as informações de atividade e estratégia. Já as colunas **no.** e **especificação** foram adicionadas, de acordo com a adaptação realizada para inserção no desenvolvimento.



**Figura 18 – Novo modelo *Stage-gate* com a filosofia *Set-based* incorporada.**

A coluna **atividade** representa o tipo de atividade dentro das quais as estratégias estão inseridas. Para a atividade de montagem e desmontagem, existem várias estratégias relacionadas com esta atividade principal.

A coluna **estratégias** relaciona todas as estratégias de fim de vida selecionadas. Algumas estratégias da lista original de Saavedra (2010) foram ignoradas neste trabalho, por não se adequarem com a proposta definida no escopo deste trabalho.

A coluna de **número** estabelece uma relação entre as estratégias que são repetidas ou aquelas que são evoluções da estratégia anterior (por exemplo, % de componentes reutilizados e número de componentes reutilizados). Já a coluna especificação contém as especificações geradas a partir das estratégias de fim de vida.

**Quadro 2 – Estratégias e especificações utilizados no primeiro *gate-review*.**

Atividade	No.	Estratégia	Especificação
Montagem e desmontagem	2	Projetar a desmontagem de produtos	Tempo de desmontagem
Impactos Ambientais	3	Minimizar o uso de materiais tóxicos no produto	Qtde materiais tóxicos
Recuperação	8	Minimizar o número de diferentes materiais usados no produto	Qtde de materiais diferentes
	4	Reduzir as dimensões do produto, tornando-o mais leve e mais fino	Peso
			Volume (respeitando espec. Segurança)
	1	Projetar o reuso de componentes do produto	% de componentes reutilizáveis
			% de componentes reparados com manutenção
	10	Usar material reciclável no produto	% de componentes remanufaturados
% de componentes recicláveis			
11	Melhorar a adaptabilidade dos produtos para processos de recuperação, manutenção e atualização	% de resíduos	
			Lista de requisitos de entrada para a concepção do produto

**Quadro 3 - Estratégias e especificações utilizados no segundo *gate-review*.**

Atividade	No.	Estratégia	Especificação
Montagem e desmontagem	2	Projetar a desmontagem de produtos	Tempo de desmontagem
	9	Minimizar o número de componentes no produto	Numero total de componentes
	13	Desenvolver produtos modulares	Lista de módulos do produto (qtos módulos possuirá?)
	12	Evitar o uso de adesivos	Qtde de adesivos no produto
Recuperação	8	Minimizar o número de diferentes materiais usados no produto	Qtde de materiais diferentes
	4	Reduzir as dimensões do produto, tornando-o mais leve e mais fino	Peso
	4	Reduzir as dimensões do produto, tornando-o mais leve e mais fino	Volume (respeitando espec. Segurança)
	1	Evitar o uso de materiais com diferentes tempos de vida	$\Delta VU$ = Delta vida útil mat. Mais resistente - menos resistente)
	1	Projetar o reuso de componentes do produto	% de componentes reutilizáveis
			% de componentes reparados com manutenção
	10	Usar material reciclável no produto	% de componentes remanufaturados
% de componentes recicláveis			
1	Usar materiais duráveis no produto	% de resíduos	
			VUM = Média da vida útil dos materiais empregados
Limpeza	5	Projetar superfícies lisas no produto	% de superfícies lisas (m <sup>2</sup> /total)
	6	Identificar os componentes e materiais recuperáveis do produto	% de componentes e materiais recuperáveis identificados
	6	Incrementar a quantidade de componentes e materiais recuperáveis no produto	

Quadro 4 - Estratégias e especificações utilizados no terceiro *gate-review*

(continua)

Atividade	No.	Estratégia	Especificação
Montagem e desmontagem	7	Promover o uso de Snap fits (métodos definidos por pressão ou encaixes múltiplos)	Presença de Snap-fits (onde aplicável)
	13	Minimizar as interações entre os módulos existentes do produto	Lista descritiva das interfaces entre os módulos
	9	Maximizar a integração de funções entre os componentes	Análise de Valor (verificar integração das funções)
	2	Desenvolver produtos que facilitem a retirada de componentes de difícil acesso	% de componentes de difícil acesso
	7	Padronizar os elementos de Fixação conforme ISO 8992:2005 (Fasteners - General requirements for bolts, screws, studs and nuts )	% de elementos de fixação contidos na ISO 8992:2005
	9	Projetar para que as partes isoladas sejam de baixo valor para diminuir os custos por quebra	Análise de modos de quebra (FMEA) das extremidades x custo
	2	Usar ferramentas comuns para a desmontagem de produtos	RFC = razão entre ferramentas necessárias para desmontagem / ferramentas comuns
	9	Evitar a quebra e possibilitar o reuso de componentes	Lista de componentes reutilizáveis
	2	Melhorar o acesso e identificação dos pontos de separação do produto	% de Pontos de separação identificados
	9	Evitar o uso de metais dentro das partes plásticas para diminuir a quebra dos componentes	QPRM = Qtde peças plásticas com reforço metálico
	7	Minimizar os elementos de junção e fixação usadas no produto	QEF = Quantidade de elementos de fixação/junção
	2	Minimizar o uso de soldas no produto	ETSS = Extensão total de superfície soldada (metro linear)
Limpeza	5	Projetar produtos que sejam de fácil limpeza	Tempo de limpeza necessário
	9	Minimizar o número de componentes no produto	Numero total de componentes
Impactos Ambientais	5	Usar produtos químicos amigáveis ao meio ambiente ( ex. adesivos solúveis em água)	IACQ - Índice de amigabilidade dos componentes químicos presentes (1 - todos os químicos amigáveis)
Recuperação	1	Usar componentes duráveis com um ciclo de vida maior que das partes auxiliares	$\Delta C$ = Comparativo entre menor ciclo de vida de componente durável x maior ciclo de vida de componente auxiliar
	4	Reduzir as dimensões do produto, tornando-o mais leve e mais fino	Peso
	4	Reduzir as dimensões do produto, tornando-o mais leve e mais fino	Volume (respeitando espec. Segurança)
	2	Projetar o uso de elementos de fixação que permitam fácil separação de componentes	Tempo de desmontagem
	2	Projetar os produtos para fácil manutenção	
	2	Projetar produtos com materiais que sejam de fácil separação para facilitar processos de recuperação e triagem	



Quadro 4 - Estratégias e especificações utilizados no terceiro *gate-review*

(conclusão)

Atividade	No.	Estratégia	Especificação
	14	Determinar os impactos ambientais relacionado aos recursos consumidos	<b>ECO = índice resultante dos cálculos para o produto</b>
	14	Resultados <i>ECO-INDICATOR</i>	
Recuperação	8	Analisar a composição dos materiais para posterior recuperação	Lista de materiais recuperáveis
	9	Identificar os componentes plásticos do produto, conforme a ISO 11469 (Plastics -Generic identification and marking of plastics products )	Lista de componentes (com coluna contendo material)
	9	Identificar os diferentes tipos de plásticos usados no produto	Lista de componentes (com coluna contendo material) - relação de matéria-prima plástica
	7	Incentivar o reuso de elementos de fixação, considerando as funcionalidades originais para não comprometer a qualidade e funcionalidade do produto	Lista de elementos de fixação utilizados contendo referência ISO e também o destino de reutilização - % dos elementos de fixação reutilizados
	6	Minimizar a mistura de materiais do produto	% de componentes e materiais identificáveis
Recuperação	9	Projetar o uso de componentes que facilitem a atualização e adaptação de mudanças tecnológicas	Roadmap de atualizações tecnológicas envolvendo componentes e ações de atualização
	1	Reusar produtos com longos ciclos de vida	% de reutilização de produtos com longos ciclos de vida
	6	Codificar os componentes para rastreabilidade e recuperação	% de componentes com rastreabilidade
Impactos Ambientais	3	Analisar a toxicidade dos materiais usados no produto	Lista de substâncias tóxicas com descrição
	3	Projetar unidades fechadas para substâncias tóxicas	Lista de soluções para mat. Tóxicos
	5	Projetar superfícies lisas no produto	% de superfícies lisas (m <sup>2</sup> /total)

Quadro 5 - Estratégias e especificações utilizados no quarto *gate-review*

(continua)

Atividade	No.	Estratégia	Especificação
Recuperação	13	Proteger os grupos de montagem da poluição e corrosão para evitar a deterioração	Descrição de processo de fabricação - análise da proteção associada
	7	Manter as especificações originais dos elementos de junção e fixação usados em produtos remanufaturados	Instrução de remanufatura contém especificações de junção iguais as do produto inicial
	8	Usar materiais compatíveis dentro do produto	ICM = Índice de compatibilidade entre materiais
Montagem e desmontagem	2	Desenvolver guias para desmontagem do produto	Guia para desmontagem
	2	Identificar os componentes de difícil remoção dentro do produto	Lista de componentes de difícil acesso x ação tomada

Quadro 5 - Estratégias e especificações utilizados no quarto *gate-review*

(conclusão)

Atividade	No.	Estratégia	Especificação
Montagem e desmontagem	6	Projetar marcação em cores	Descrição de Processo - verificar conceito das marcações
	2	Minimizar o uso de soldas no produto	ETSS = Extensão total de superfície soldada (metro linear)
	9	Minimizar o número de componentes no produto	Numero total de componentes
	7	Minimizar os elementos de junção e fixação usadas no produto	QEF = Quantidade de elementos de fixação/junção
Recuperação	4	Reduzir as dimensões do produto, tornando-o mais leve e mais fino	Peso
	4	Reduzir as dimensões do produto, tornando-o mais leve e mais fino	Volume (respeitando espec. Segurança)
Limpeza	5	Identificar os componentes que requeiram limpeza similar	RPPL = razão entre qto componentes/qtde prod limpeza
Impactos Ambientais	5	Projetar superfícies lisas no produto	área de superfície lisa (m <sup>2</sup> )
	6	Codificar os componentes para rastreabilidade e recuperação	Número de componentes com rastreabilidade
	3	Projetar a remoção e separação de partes que contenham substâncias tóxicas	Instrução de remoção de materiais tóxicos (caso haja)
Montagem e desmontagem	2	Diminuir as mudanças de direções e de sentidos dos movimentos de desmontagem e remontagem dos componentes	Instrução de desmontagem - qtde movimentos
	2	Minimizar o tempo de desmontagem e remontagem do produto	Tempo de desmontagem / remontagem
	2	Projetar produtos de fácil desmontagem para evitar a destruição de componentes	
Impactos Ambientais	14	Determinar os impactos ambientais relacionado às emissões dos produtos	Análise no SimaPro
	14	Determinar os impactos ambientais relacionados a ecotoxicidade e toxicidade humana	
Limpeza	5	Usar componentes resistentes à deformação pelo uso de produtos químicos na limpeza	CR = % dos componentes que resistiram no ensaio de agentes de limpeza
	5	Projetar Produtos minimizando a limpeza durante o uso para evitar desgaste dos componentes	Ss = % Superfície suja após ciclo de utilização
Impactos Ambientais	8	Eliminar a combinação de materiais corrosivos com os não corrosivos	Análise do resultado do ensaio de corrosão

Cada estratégia foi desdobrada em uma especificação de fim de vida a partir da análise de que tipo de especificação a estratégia estaria propondo. Por exemplo, uma estratégia que vise a diminuição do tempo de desmontagem do produto irá gerar uma especificação **tempo de desmontagem**, a qual por sua vez irá gerar uma **métrica** a qual será determinar um limite máximo de tempo para a desmontagem do produto. Da mesma maneira, a estratégia **reusar produtos com longos ciclos de vida** gera uma especificação de **porcentagem de reutilização de produtos com longos ciclos de vida** e uma métrica de

**porcentagem mínima de reutilização.** Este raciocínio foi utilizado para todas as estratégias da lista.

#### 4.3 INÍCIO DO DESENVOLVIMENTO: INSERÇÃO DE VALORES

A tela inicial, a primeira a ser apresentada ao usuário a partir do acionamento da ferramenta, tem o aspecto da Figura 18 apresentada anteriormente. A partir disso, os quatro estágios e os *gates* de desenvolvimento podem ser acessados, bastando-se que se clique sobre as figuras correspondentes a cada estágio para se obter acesso as planilhas que contém as informações e resultados. O projetista inicia o desenvolvimento clicando na figura correspondente ao primeiro estágio (“Ideia – Primeiro conjunto de alternativas”) e ele é conduzido diretamente para a planilha “Preparação do estágio – *Gate 1*”, que tem o aspecto apresentado na Figura 19, que mostra um exerto da tela onde são inseridas as informações iniciais, descritas na seção seguinte.

Definição de objetivos do produto ("espaços de projeto")				
Projeto:				
Programa:				
GATE	#	CRITÉRIO	ESPECIFICAÇÃO	UNIDADE
Gate 1	2	Tempo de desmontagem	menor ou igual a	minutos
	8	Qtde de materiais diferentes	menor ou igual a	materiais
	4	Peso	menor ou igual a	kg
	4	Volume	menor ou igual a	m <sup>3</sup>
	3	Qtde de materiais tóxicos	menor ou igual a	materiais
Gate 2	9	Total de componentes	menor ou igual a	componentes
	13	Total de módulos	menor ou igual a	módulos
	12	Qtde de adesivos no produto	menor ou igual a	adesivos
	1	$\Delta$ VU = Delta vida útil mat. Mais resistente - menos resistente)	menor ou igual a	adimensional
	9	QPRM = Qtde peças plásticas com reforço metálico	menor ou igual a	%
	7	QEF = Quantidade de elementos de fixação/junção	menor ou igual a	elementos

**Figura 19 – Tela inicial da ferramenta para a inserção das especificações particulares e escolha do nível de sustentabilidade.**

Nesta tela inicial vista na Figura 19, são inseridos os dados referentes aos espaços de projeto a serem trabalhados durante o desenvolvimento. Neste momento, as especificações dependentes presentes nas fases seguintes do PDP se encontram na cor cinza, representando a impossibilidade de defini-las no momento do primeiro estágio de desenvolvimento.

A cada estágio de desenvolvimento iniciado, é liberado o preenchimento das especificações referentes à etapa de desenvolvimento em processo. A partir do *Gate 2* em diante, também é possível que se alterem os valores determinados nos *gates* anteriores, caso haja necessidade de reavaliação destes valores.

Para o *gate-review 1*, as métricas das especificações dependentes podem ser preenchidas: tempo de desmontagem, quantidade de materiais diferentes, peso, volume e quantidade de materiais tóxicos; conforme exemplificado na Figura 20. Vale lembrar que, nesta fase, os valores ainda são muito abstratos, pois o conceito do produto está em formação. Por isso, os projetistas apenas definem os **espaços de projeto** limítrofes onde o produto estará localizado, e não a especificação definitiva. A quantidade de materiais tóxicos aparece com um traço, pois neste exemplo não é permitido nenhum material tóxico desde o início do desenvolvimento.

GATE	#	ESPECIFICAÇÃO DEPENDENTE	MÉTRICA		UNIDADE
Gate 1	2	Tempo de desmontagem	menor ou igual a	30	minutos
	8	Qtde de materiais diferentes	menor ou igual a	16	materiais
	4	Peso	menor ou igual a	26	kg
	4	Volume	menor ou igual a	48	x0,01 m <sup>3</sup>
	3	Qtde de materiais tóxicos	menor ou igual a	-	material(is)

Figura 20 - *Gate 1*: especificações dependentes.

Após o preenchimento dos valores para o *Gate 1*, o projetista escolhe o nível de sustentabilidade que a empresa deseja aplicar no desenvolvimento em questão, conforme a Figura 21. Este botão ativa uma macro que realiza o preenchimento das métricas referentes ao nível escolhido dentro da aba de inserção dos resultados, na coluna **métricas**, conforme a Figura 22.

ESTRATÉGIA DE SUSTENTABILIDADE

Nível 1

Nível 2

Nível 3

No. DE ALTERNATIVAS EM DESENVOLVIMENTO NO ESTÁGIO

Clique aqui para definir

Figura 21 - Seleção do nível de sustentabilidade e número de alternativas.

A seguir, o número de alternativas a ser desenvolvido no estágio em questão é inserido, clicando no botão “Clique aqui para definir”, contido dentro do quadro “No. de Alternativas em Desenvolvimento no Estágio” (conforme a Figura 21), para que se gere uma aba de preenchimento de resultados para cada alternativa.

Na sequência, o próximo passo trata da inserção dos nomes de cada alternativa em desenvolvimento dentro da aba correspondente no Excel. Cada aba contém uma planilha onde serão preenchidos os resultados encontrados para cada uma das especificações, na coluna **resultados**, como visto na Figura 22. Os resultados serão automaticamente confrontados com as métricas estabelecidas no início e uma pontuação será gerada na coluna de pontuação; caso o resultado atenda a métrica, receberá a pontuação cheia definida para aquela especificação, conforme relação no apêndice B. Caso contrário, a alternativa receberá a pontuação de 0 para aquela especificação. Esta operação se repete para todas as especificações presentes na aba de cada alternativa; os resultados devem ser preenchidos para todas elas.

Especificação	Métrica	Resultado	Unidade	Pontuação
Tempo de desmontagem	menor ou igual a		min.	
Qtde materiais tóxicos	menor ou igual a		un.	
Qtde de materiais diferentes	menor ou igual a		un.	
Peso	menor ou igual a		kg	
Volume (respeitando espec. Segurança)	menor ou igual a		x0,01 m³	
% de componentes reutilizáveis			%	
% de componentes reparados com manutenção			%	
% de componentes remanufaturados			%	
% de componentes recicláveis			%	
% de resíduos			%	
Lista de requisitos de entrada para a concepção do produto			-	
<b>TOTAL</b>				<b>0</b>

**Figura 22 – Aba para inserção dos valores encontrados para uma alternativa analisada no Gate 1.**

Assim que todos os resultados encontrados estejam preenchidos, o projetista clica na aba “Síntese” que automaticamente gera um resumo de todas alternativas e suas respectivas pontuações obtidas, ordenadas automaticamente da esquerda para direita, ficando na extrema esquerda a alternativa com a maior pontuação e na extrema direita a alternativa com a pior pontuação. A tela de síntese está representada na Figura 23.

Esta aba é a principal fonte de dados para a reunião de *gate-review* ao final do estágio de desenvolvimento. A partir destas informações, a equipe envolvida no PDP em questão arbitra em função das alternativas que devem passar ao estágio seguinte de desenvolvimento.

Para o *Gate 2*, o processo descrito na seção anterior se repete da mesma maneira, apenas que agora as especificações dependentes preenchidas são aquelas referentes ao *gate 2*. As especificações definidas no *Gate 1* são carregadas automaticamente, mas podem ser modificadas pelo projetista caso necessário.

	BDVS010	BDVS006	BDVS009	BDVS005	BDVS008
Tempo de desmontagem					
Qtde materiais tóxicos					
Qtde de materiais diferentes					
Peso					
Volume (respeitando espec. Segurança)					
% de componentes reutilizáveis					
% de componentes reparados com manutenção					
% de componentes remanufaturados					
% de componentes recicláveis					
% de resíduos					
Lista de requisitos de entrada para a concepção do produto					
<b>TOTAL</b>					

Figura 23 – Aba “Síntese” que classifica as alternativas conforme a pontuação.

A sequência de utilização é a mesma do *Gate 1*, conforme já descrito no diagrama da Figura 15. Escolhe-se o nível de sustentabilidade e o número de alternativas. As telas de inserção de resultados para as alternativas deste estágio são análogas as do *gate 1*, contendo as especificações de fim de vida deste estágio. O mesmo vale para a aba de síntese, que funciona conforme descrição na seção anterior

Para os *gates 3 e 4*, o preenchimento das informações na aba “QUESTIONÁRIO” permanece da mesma maneira que nos estágios anteriores. Este protótipo foi projetado de maneira que, ao se abrir o arquivo de preenchimento de resultados (Figura 22), as especificações preenchidas nos *Gates* anteriores sejam carregadas automaticamente, sendo necessário apenas o preenchimento das métricas para o estágio/*gate* em execução.

Já na etapa de preenchimento dos resultados, há algumas diferenças. No *Gate 3*, o projetista se depara com uma especificação **Avaliação das Matérias-primas por ECO-Indicator**; que é completada após o preenchimento do formulário com as matérias-primas utilizadas em cada alternativa e respectivas estratégias de fim de vida, conforme a Figura 16 apresentada na Seção 3.2.2.3. Cada alternativa tem o seu conjunto de matérias-primas avaliadas através deste formulário, que gera uma pontuação de impacto ambiental total. Esta pontuação é inserida na coluna de resultados do arquivo “preparação do estágio” na aba “RESULTADOS”, para cada alternativa no local apropriado, de acordo com a Figura 24.

	Especificação	Métrica	Resultado	Unidade	I
relacionado aos	ECO = índice resultante dos calculos para o produto	menor ou igual a 70		x100 (adimensional)	
	área de superfície lisa (m²)	maior ou igual a 65		%	
reabilitade e	Número de componentes com rastreabilidade	maior ou igual a 40		%	

**Figura 24 - Local para inserção do resultado do *Eco-indicator* / Matéria-prima.**

Novamente, após a avaliação da síntese dos resultados durante o *gate-review*, as alternativas são selecionadas para iniciarem o quarto e último estágio de desenvolvimento, onde apenas uma alternativa deve ser escolhida para o início da produção em escala.

O terceiro estágio apresenta um procedimento análogo ao segundo estágio, porém neste estágio a avaliação de matéria-prima dá lugar a uma avaliação mais completa, realizada por meio do SimaPRO, uma vez que nesta fase todos os dados necessários para a execução de um ACV já estão disponíveis, e o desempenho das alternativas na avaliação deste programa será fundamental para a correta tomada de decisão.

\*\*\*

Agora que já foi descrita a maneira de se utilizar a ferramenta-protótipo, na seção a seguir, são apresentados os resultados encontrados no desenvolvimento hipotético proposto, para o banco de automóvel.

#### 4.4 RESULTADOS – DESENVOLVIMENTO DE BANCO DE AUTOMÓVEL

Nesta seção, os resultados são apresentados por Estágio/*Gate* completado e decisões hipotéticas são tomadas para se representar um PDP ocorrendo na prática, desde o primeiro estágio até o quarto.

#### 4.4.1 Geração de Idéias – Gate #1

Nesta primeira etapa dez alternativas iniciais foram propostas e receberam uma nomenclatura do tipo **BDVSXXX**, numeradas em sequência desde o número 001 até 010. Cada uma dessas alternativas teve respondido um questionário contendo as especificações avaliadas no *Gate 1*. As características de cada alternativa podem ser encontradas no Apêndice B, para cada estágio completado. A Tabela de síntese com a pontuação atingida pode ser vista na Figura 25.

	BDVS010	BDVS006	BDVS009	BDVS005	BDVS008
Tempo de desmontagem	7	7	7	7	0
Qtde materiais tóxicos	0	10	10	10	0
Qtde de materiais diferentes	6	6	6	0	0
Peso	4	4	4	0	0
Volume (respeitando espec. Segurança)	4	4	4	4	4
% de componentes reutilizáveis	10	10	10	0	10
% de componentes reparados com manutenção	10	0	0	10	10
% de componentes remanufaturados	8	0	0	8	8
% de componentes recicláveis	3	3	3	3	3
% de resíduos	2	2	2	2	2
Lista de requisitos de entrada para a concepção do produto					
<b>TOTAL</b>	<b>54</b>	<b>46</b>	<b>46</b>	<b>44</b>	<b>37</b>
	BDVS004	BDVS002	BDVS001	BDVS007	BDVS003
Tempo de desmontagem	7	7	7	7	0
Qtde materiais tóxicos	0	0	0	0	0
Qtde de materiais diferentes	0	0	0	6	0
Peso	0	4	0	4	0
Volume (respeitando espec. Segurança)	4	4	4	4	4
% de componentes reutilizáveis	10	0	10	0	0
% de componentes reparados com manutenção	0	10	0	0	0
% de componentes remanufaturados	8	0	0	0	0
% de componentes recicláveis	3	3	3	0	3
% de resíduos	2	2	2	0	2
Lista de requisitos de entrada para a concepção do produto					
<b>TOTAL</b>	<b>34</b>	<b>30</b>	<b>26</b>	<b>21</b>	<b>9</b>

Figura 25 – Síntese da avaliação para as dez alternativas desenvolvidas no Estágio 1.

As alternativas aparecem classificadas de forma descendente, da esquerda para a direita. Como se pode perceber, a alternativa **BDVS010** foi a que atingiu a maior quantidade de pontos, deixando de pontuar em apenas um requisito (i.e. quantidade de materiais tóxicos). Em seguida vieram as alternativas 006, 009, 005, 008, fechando as cinco que mais pontuaram neste primeiro *Gate*.



A última especificação da figura não está preenchida pois foi considerada muito avançada para ser incluída no nível 1 de sustentabilidade; portanto ela encontra-se no estado de “Não aplicável”. Isto vale para as tabelas de síntese de todos os estágios de desenvolvimento. O Apêndice A contém a relação de todos os critérios que não são aplicáveis, separados por estágio do PDP.

A pontuação de corte para este estágio (29 pontos) e para os outros subsequentes foi definida na seção 3.2.2.1. As alternativas abaixo desta pontuação foram eliminadas do projeto em primeira instância, pois assumiu-se que não houve nenhuma discussão mais profunda, por se tratar do começo do desenvolvimento. Assim, as alternativas BDSV001, 007 e 003 foram eliminadas do desenvolvimento.

#### 4.4.2 Primeiro Estágio – Gate #2

Repetindo o procedimento de preenchimento, logo na primeira tela já são inseridos os critérios para as especificações dependentes, conforme a Figura 26.

GATE	#	ESPECIFICAÇÃO DEPENDENTE	MÉTRICA		UNIDADE
Gate 1	2	Tempo de desmontagem	menor ou igual a	30	minutos
	8	Qtde de materiais diferentes	menor ou igual a	16	materiais
	4	Peso	menor ou igual a	26	kg
	4	Volume	menor ou igual a	48	x0,01 m <sup>3</sup>
	3	Qtde de materiais tóxicos	menor ou igual a	0	materiais
Gate 2	9	Total de componentes	menor ou igual a	95	componentes
	13	Total de módulos	maior ou igual a	4	módulos
	12	Qtde de adesivos no produto	menor ou igual a	5	adesivos
	1	$\Delta$ VU = Delta vida útil mat. Mais resistente - menos resistente)	menor ou igual a	35	adimensional

Figura 26 – Extrato da Tabela preenchida com as especificações do Gate 2.

Restando as alternativas BDVS002, 004, 005, 006, 008, 009 e 010 para o segundo estágio de desenvolvimento, a Figura 27 contém a tabela síntese com as alternativas já organizadas, de acordo com os resultados encontrados para cada alternativa desenvolvida neste estágio, presentes no Quadro 8 do Apêndice B.

	BDVS006	BDVS010	BDVS005	BDVS009	BDVS004	BDVS008	BDVS002
Tempo de desmontagem	7	7	7	7	7	0	7
Numero total de componentes	8	8	0	8	0	0	0
Lista de módulos do produto (qtos módulos possuirá?)	8	8	8	8	8	8	0
Qtde de adesivos no produto	6	6	6	6	6	6	6
Qtde de materiais diferentes	6	6	6	6	0	0	0
Peso	4	4	0	4	0	0	4
Volume (respeitando espec. Segurança)	4	4	4	4	4	4	4
$\Delta VU$ = Delta vida útil mat. Mais resistente - menos resistente)	8	8	8	8	8	0	0
% de componentes reutilizáveis	7	7	7	7	7	7	7
% de componentes reparados com manutenção	8	8	8	0	0	8	8
% de componentes remanufaturados	8	8	8	0	8	8	0
% de componentes recicláveis	6	6	6	6	6	6	6
% de resíduos	6	6	6	6	6	6	6
VUM = Média da vida útil dos materiais empregados	11	11	11	11	11	11	11
% de superfícies lisas (m <sup>2</sup> /total)	5	5	5	5	5	5	5
% de componentes e materiais recuperáveis identificados	9	9	9	9	9	9	9
<b>TOTAL</b>	<b>111</b>	<b>111</b>	<b>99</b>	<b>95</b>	<b>85</b>	<b>78</b>	<b>73</b>

Figura 27 – Resultado do *Gate-review* #2.

De acordo com a linha de corte estabelecida (83 pontos), as alternativas que passam para o estágio seguinte são a BDVS004, 005, 006, 009 e 010.

Durante o *gate-review*, constatou-se que a alternativa BDVS004 possuía 20 componentes a mais que a alternativa BDVS002. Foi decidido que a árvore de componentes da alternativa 002 seria migrada para a alternativa 004 de maneira a melhorar o desempenho desta alternativa para o estágio seguinte.

#### 4.4.3 Segundo Estágio – *Gate* #3

Para este estágio, o critério utilizado foi que apenas as duas melhores alternativas seguiriam adiante no PDP. À esta altura do desenvolvimento, o nível de detalhamento que cada alternativa atinge é muito elevado, o que inviabiliza a gestão de muitas alternativas. A Figura 28 contempla as especificações dependentes para esta fase.

De acordo com a síntese anterior na Figura 27, as alternativas reprovadas foram a BDVS002 e 008. Neste estágio ocorre o preenchimento das planilhas de Matéria-prima por meio de *Eco-Indicator* para as alternativas em avaliação. Os resultados para as alternativas BDV004, 05, 06, 09 e BDVS010 estão no Apêndice C. A seguir, a Figura 29 contém a síntese para este Estágio, com as duas melhores alternativas em destaque.

GATE	#	ESPECIFICAÇÃO DEPENDENTE	MÉTRICA		UNIDADE
Gate 3	9	QPRM = Qtde peças plasticas com reforço metálico	menor ou igual a	5	%
	7	QEF = Quantidade de elementos de fixação/junção	menor ou igual a	15	elementos
	2	ETSS = Extensão total de superfície soldada (metro linear)	menor ou igual a	10	ml
	5	Tempo de limpeza necessário	menor ou igual a	16	minutos
	5	$\Delta C$ = Comparativo entre menor ciclo de vida de componente durável x maior ciclo de vida de componente auxiliar	maior ou igual a	15	anos
	1	IACQ - Índice de amigabilidade dos componentes químicos presentes (1 - todos os químicos amigáveis)	maior ou igual a	1	adimensional
	14	ECO = indice resultante dos calculos para o produto	menor ou igual a	30	x100 (adimensional)

Figura 28 - Especificações dependentes do Segundo Estágio - Gate 3.

	BDVS010	BDVS009	BDVS006	BDVS005	BDVS004
Presença de Snap-fits (onde aplicável)	7	0	0	0	7
Lista descritiva das interfaces entre os módulos					
Análise de Valor (verificar integração das funções)	6	0	6	0	0
% de componentes de difícil acesso	4	4	4	4	4
% de elementos de fixação contidos na ISO 8992:2005	4	4	0	4	4
Análise de modos de quebra (FMEA) das extremidades x custo	10	10	10	10	0
RFC = razão entre ferramentas necessárias para desmontagem / ferramentas comuns	10	10	10	10	10
Lista de componentes reutilizáveis					
% de Pontos de separação identificados	3	3	0	3	0
QPRM = Qtde peças plasticas com reforço metálico	7	0	7	7	7
QEF = Quantidade de elementos de fixação/junção	7	7	7	7	7
ETSS = Extensão total de superfície soldada (metro linear)	7	0	7	0	0
Tempo de limpeza necessário	8	8	0	8	8
Numero total de componentes	8	8	8	0	0
IACQ - Índice de amigabilidade dos componentes químicos presentes (1 - todos os químicos amigáveis)	8	8	8	8	8
$\Delta C$ = Comparativo entre menor ciclo de vida de componente durável x maior ciclo de vida de componente auxiliar	0	0	0	5	5
Peso	4	4	4	0	0
Volume (respeitando espec. Segurança)	4	4	4	0	4
Tempo de desmontagem	7	7	7	7	7
ECO = indice resultante dos calculos para o produto	12	12	12	0	0
Lista de componentes (com coluna contendo material)					
Lista de componentes (com coluna contendo material) - relação de materia-prima plastica					
Lista de elementos de fixação utilizados contendo referência ISO e também seu destino de reutilização	3	3	3	3	3
- % dos elementos de fixação reutilizados					
% de componentes e materiais identificáveis	2	2	2	2	2
Roadmap de atualizações tecnologicas envolvendo componentes e ações de atualização	11	11	0	0	0
% de reutilização de produtos com longos ciclos de vida	5	5	5	0	0
% de componentes com rastreabilidade	9	9	9	9	9
Lista de substâncias tóxicas com descrição					
Lista de soluções para mat. Tóxicos					
% de superfícies lisas (m <sup>2</sup> /total)	8	8	8	8	8
<b>TOTAL</b>	<b>154</b>	<b>127</b>	<b>121</b>	<b>95</b>	<b>93</b>

Figura 29 - Resultado da Sítese para avaliação no Gate 3.

Nesta síntese, percebe-se que o “Delta C” (Comparativo entre menor ciclo de vida de componente durável x maior ciclo de vida de componente auxiliar) das alternativas 4 e 5 são melhores do que os das duas melhores colocadas. Isto abre a possibilidade de se obter o mesmo desempenho nessas alternativas. Neste caso, no entanto, isto se deveu ao fato do tecido utilizado no subsistema de estofamento de assento e encosto possuir uma vida útil menor, por isso o resultado melhor do indicador. Como esta característica é na verdade indesejável, este intercâmbio foi deixado de lado.

Analisando o resultado do *ECO-Indicator* para as alternativas 006 e 009 (Quadros 14 e 15), pode-se notar que o desempenho da 006 é bastante superior ao da 009. Neste caso, a equipe optou por utilizar então a estratégia de fim de vida realizada para a estratégia 006 na alternativa 009.

#### 4.4.4 Terceiro Estágio – Gate #4

Para este último estágio de definição da alternativa a ser industrializada restaram as alternativas BDVS009 e 010. Ambas de certa maneira já apresentam características híbridas com relação à proposta original. As especificações dependentes para o Terceiro Estágio foram preenchidas conforme a Figura 30.

GATE	#	ESPECIFICAÇÃO DEPENDENTE	MÉTRICA	UNIDADE	
Gate 4	5	RPPL = razão entre qto componentes/qtde prod limpeza	maior ou igual a	40	adimensional
	5	área de superfície lisa	maior ou igual a	65	m <sup>2</sup>
	6	Número de componentes com rastreabilidade	maior ou igual a	40	componentes
	2	Tempo de desmontagem / remontagem	menor ou igual a	75	minutos
	5	CR = % dos componentes que resistiram no ensaio de agentes de	maior ou igual a	90	%
	14	Análise no SimaPro	menor ou igual a	800	x 0,01 pt

Figura 30 – Especificações dependentes preenchidas para o Terceiro Estágio - Gate 4.

Nesse estágio utilizou-se o SimaPRO para a verificação das alternativas entre si e comparativamente com o banco atual, para verificação do ganho em termos de impacto ambiental. A Tabela 11 e a Figura 31 demonstram os resultados gerados com o SimaPRO.

A Tabela 11 contém as pontuações adquiridas separadas em três categorias: i) a primeira trata dos **recursos** empregados para fabricação e reutilização, ii) a segunda da preservação da **Qualidade do Ecossistema** e iii) a terceira trata do impacto referente à **Saúde**

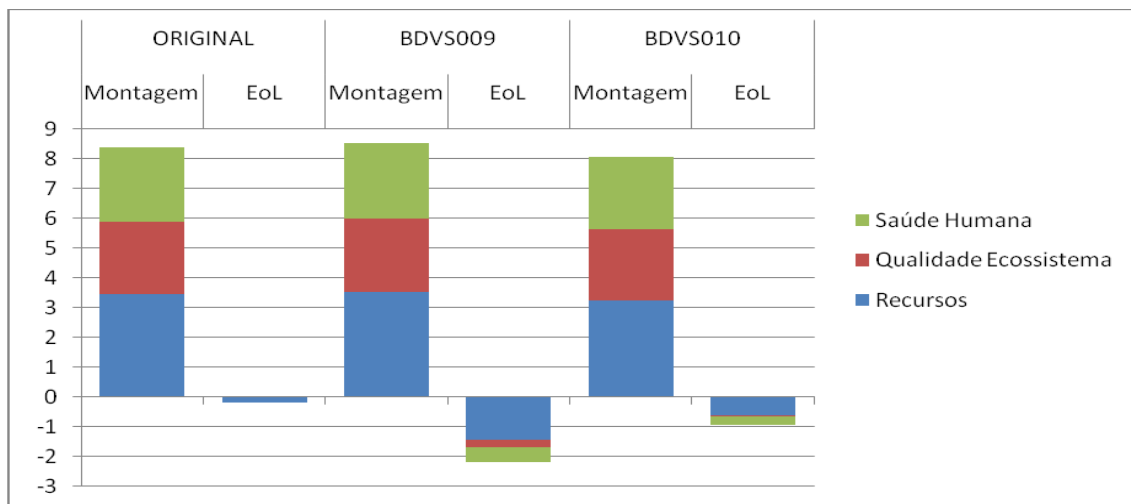
**Humana.** As pontuações estão separadas também com relação ao impacto causado pelos processos de Montagem e Fim de Vida (EoL). Já a Figura 33 apresenta os mesmos resultados que a Tabela 11, de maneira gráfica.

As duas alternativas desenvolvidas tiveram um desempenho melhor do que o banco original – desenvolvido sem o auxílio da ferramenta. Estes resultados serão melhor discutidos na seção seguinte.

Estes resultados foram inseridos para as duas alternativas BDVS009 e 010, e então foi gerada a síntese final para o estágio, apresentada na Figura 32. Como conclusão, a alternativa escolhida para a fase de industrialização foi a **BDVS009**.

**Tabela 11 - Síntese dos resultados do SimaPRO**

CATEGORIA	ORIGINAL		BDVS009		BDVS010	
	Montagem	EoL	Montagem	EoL	Montagem	EoL
Recursos	3,44	-0,173	3,52	-1,44	3,23	-0,602
Qualidade Ecossistema	2,44	0	2,47	-0,226	2,39	-0,0625
Saúde Humana	2,49	0	2,53	-0,504	2,44	-0,258
<b>SUBTOTAL</b>	<b>8,37</b>	<b>-0,173</b>	<b>8,52</b>	<b>-2,17</b>	<b>8,06</b>	<b>-0,9225</b>
<b>TOTAL GERAL</b>	<b>8,197</b>		<b>6,35</b>		<b>7,1375</b>	



**Figura 31 – Gráfico com os resultados consolidados no SimaPRO.**

	BDVS009	BDVS010
Descrição de processo de fabricação - análise da proteção associada		
Instrução de remanufatura contém especificações de junção iguais as do produto inicial		
ICM = Índice de compatibilidade entre materiais		
Guia para desmontagem		
Lista de componentes de difícil acesso x ação tomada		
Descrição de Processo - verificar conceito das marcações		
ETSS = Extensão total de superfície soldada (metro linear)	0	7
Numero total de componentes	8	8
QEF = Quantidade de elementos de fixação/junção	7	0
Peso	4	4
Volume (respeitando espec. Segurança)	4	4
RPPL = razão entre qto componentes/qtde prod limpeza	0	0
área de superfície lisa (m <sup>2</sup> )	5	0
Número de componentes com rastreabilidade	8	8
Instrução de remoção de materiais tóxicos (caso haja)		
Instrução de desmontagem - qtde movimentos	8	8
Tempo de desmontagem / remontagem	6	6
Análise no SimaPro	12	12
CR = % dos componentes que resistiram no ensaio de agentes de limpeza	9	9
Ss = % Superfície suja após ciclo de utilização	7	7
Análise do resultado do ensaio de corrosão		
<b>TOTAL</b>	<b>78</b>	<b>73</b>

Figura 32 – Tabela Síntese para as duas alternativas desenvolvidas no Quarto Estágio – Gate 5.

#### 4.5 ANÁLISE E DISCUSSÃO

A ferramenta resultante deste trabalho está de acordo com o modelo proposto na Figura 18, pois está estruturada conforme esse modelo e possibilita a implementação dos conceitos trabalhados. A cada *gate-review*, alternativas foram eliminadas de acordo com uma pontuação mínima definida pela equipe de projeto, e durante as discussões de *gate-review*, as principais características do produto eram levadas em consideração e analisadas para se obter as melhores alternativas para o ingresso no estágio seguinte.

Algumas especificações de fim de vida foram repetidas através dos estágios de desenvolvimento justamente como uma maneira de sustentar a informação através dos

estágios. Estas características não poderiam ser deterioradas ao longo do processo uma vez que a criticidade era muito alta. Para a aplicação em um desenvolvimento real, esta repetição mantém as equipes de projeto atentas para as estas características principais. Isto é muito importante para que as alternativas progridam na direção correta.

A determinação dos valores das especificações de fim de vida dependentes (ou espaços de projeto) é também uma tarefa crítica a ser desempenhada pelo projetista. A escolha de valores inadequados pode tornar o desenvolvimento penoso caso ele erre sendo muito exigente. Se ele for pouco exigente, o produto irá se desenvolver desrespeitando o objetivo da ferramenta. Para a definição destes espaços de projeto, é crucial sempre se partir de um produto de referência ou, no caso de não haver nenhum, realizar revisões constantes dos espaços de projeto à medida que o produto evolui dentro do PDP.

Outra grande responsabilidade da equipe de projeto é na determinação da pontuação de corte, onde novamente deve-se ter muito critério, para não ocorrer a eliminação precoce de alternativas e, por outro lado, aprovar todas as alternativas para passagem para o próximo estágio.

A utilização da ferramenta proposta se dá em três momentos dentro de cada um dos estágios do SG: no início, para que sejam determinados os espaços de projeto que estão sendo buscados, no final do estágio, onde serão preenchidos os resultados encontrados para cada alternativa e na reunião de *gate-review*, onde a síntese consolidada com os resultados de todas as alternativas será analisada pela equipe de projeto e os responsáveis pela continuidade do projeto em selecionar as alternativas que seguem no desenvolvimento e aquelas que serão eliminadas.

Foi escolhido o nível 1 de sustentabilidade – menos agressivo – para que se verificasse o ganho mínimo em termos de sustentabilidade pela utilização da ferramenta. Esta escolha refletiu também no desempenho das alternativas, deixando próximos os resultados das alternativas propostas e do banco atual. Certamente no caso da utilização de uma estratégia mais ousada do nível 2 ou 3 traria um resultado muito mais expressivo em relação ao banco atual.

A utilização da planilha de síntese é fundamental para a melhor visualização do desempenho de todas as alternativas, principalmente durante a reunião de *gate-review*. A partir dela, é possível visualizar a pontuação de cada alternativa em cada uma das especificações verificadas no estágio.

A intercambiabilidade entre características e sistemas entre as alternativas se mostra uma das principais vantagens obtidas pelo uso da abordagem SBD. Esta característica

permite o aproveitamento das melhores soluções dentre as alternativas, desde que haja compatibilidade entre elas. Durante todo o desenvolvimento – através dos estágios, após o *gate-review* – é possível este intercâmbio de soluções, evitando que boas soluções contidas em alternativas eliminadas por baixa pontuação não sejam descartadas ou desperdiçadas, melhorando ainda mais as alternativas com boa pontuação que avançaram para o estágio seguinte.

As características que mais impactaram nos indicadores foram o peso e as estratégias de fim de vida (i.e. reciclagem, reparo). Estas, presentes desde o primeiro estágio de desenvolvimento, elas foram cruciais para que o resultado final apontado pelo SimaPRO fosse favorável às duas alternativas.

O estágio 3 foi o estágio que incorporou a maior quantidade de especificações de fim de vida, com trinta itens. Isto explica-se pelo fato deste estágio ser aquele de maior quantidade de informações geradas dentro do PDP, assim os projetistas irão gerar estas informações com base nas especificações estipuladas no começo do estágio.

O preenchimento do formulário de matérias-primas no quarto estágio foi relativamente prejudicado pelo método *Eco-indicator* 99 não prever pontuações para algumas das estratégias de fim de vida selecionadas no projeto. Mesmo assim, este resultado pode ser considerado, pois as pontuações estipuladas para estas estratégias estão coerentes com as diretrizes de sustentabilidade e com os benefícios gerados pela sua adoção.

Analisando a pontuação de fabricação fornecida pelo SimaPRO, o banco original atingiu uma pontuação menor do que para o banco 009 (8,37 contra 8,51) basicamente devido às várias peças desta alternativa terem sido projetadas para permitir a reutilização, o que aumentou o peso. Esta diferença é descontada na adição do cenário de destino final para os dois produtos, transformando-a no final em quase dois pontos de vantagem para a alternativa 009 – 6,35 pontos contra 8,2 do banco original. Já o aumento de peso traz um impacto em outra fase do Ciclo de Vida do Produto; a fase de utilização, que pode implicar no aumento de combustível gasto pelo automóvel, por exemplo. Isto lança um alerta para o fato de que os resultados do produto final devem ser verificados com relação às outras fases do Ciclo de Vida antes da implementação final.

O resultado do processo de montagem do banco 010 foi melhor do que o da alternativa 009, devido aos menores impactos verificados nas categorias “qualidade do ecossistema” e “saúde humana”. No entanto, a estratégia de recuperação dos componentes foi determinante para a escolha da alternativa 009 neste processo, respeitando um dos principais preceitos da sustentabilidade de se analisar um produto de maneira sistêmica, e não isolada.



Algumas dificuldades foram encontradas durante a utilização do SimaPRO. A primeira restrição diz respeito à base de dados, pois os valores determinados para os impactos dos processos de fabricação e matéria-prima dizem respeito a realidade industrial da Europa. Estes valores, se adaptados para a realidade brasileira com certeza trariam resultados diferentes.

Outra dificuldade ocorreu devido à ferramenta não atender totalmente à realidade da indústria automotiva, em termos de processos de fabricação. Há uma grande dificuldade em alocar recursos e processos, pois vários dos processos utilizados para a fabricação de um banco não estão claramente descritos no SimaPRO. Além disso, para realizar a criação de um novo processo a interface não é amigável, sendo necessária a introdução de dados muito específicos, que muitas vezes o fabricante não possui, prejudicando a correta utilização.

Outra limitação do programa foi encontrada na manipulação e transporte das informações – para um comparativo entre os pesos dos bancos por exemplo, foi necessário a construção de uma planilha paralela no Microsoft Excel.

Esta ferramenta foi desenvolvida em Powerpoint e Excel, portanto, ela contém várias limitações inerentes à utilização destes dois programas. O objetivo era de apenas definir uma estrutura para esta ferramenta, e nisso o trabalho proposto atingiu o objetivo.

O método para definir a pontuação pode ser aprimorado através de pesquisa mais profunda com especialistas e por meio da realização de testes que possam contribuir no entendimento do impacto de cada especificação de fim de vida no balanço entre meio ambiente e cadeia produtiva.

Ainda, o caráter de bonificação da ferramenta traz algumas desvantagens, pois não é meritória para a equipe que buscou o melhor resultado para uma especificação, nivelando o desempenho das alternativas a partir de um objetivo a ser alcançado, e não pela superação das expectativas. A alternativa que se limita a apenas atender um especificação é aprovada da mesma maneira que aquela alternativa que buscou o melhor desempenho possível naquele critério.

Quanto ao produto escolhido para a realização do estudo de caso, a principal dificuldade para a aplicação desta ferramenta está ligada à duração do ciclo de vida do banco em si, pois a vida útil tende a ser grande - em média, doze anos (MARK; KAMPRATH, 2004). Neste caso, as fabricantes de bancos teriam que projetar um banco planejando a reutilização em longo prazo, o que é uma estratégia muito antagônica ao que se faz atualmente.

Para que esta ferramenta possa realmente contribuir para o PDP, um alto grau de disciplina e maturidade é necessário; os dados inseridos na planilha devem ser fidedignos e condizentes à realidade – é muito comum acontecer do fornecedor escrever dados irreais apenas para atender as demandas do cliente e depois não conseguir atingir aqueles objetivos traçados; neste contexto, uma vantagem desta ferramenta é de premiar o atendimento de um requisito, e não criticar e penalizar o fabricante – ele pode tranquilamente não pontuar em um requisito e compensar pontuando em algum outro.

A realização de uma ACV no final do PDP gera ainda uma certa polêmica com relação a definição do escopo. Neste caso, o ciclo de vida é praticamente ignorado (apesar desta diretriz ir contra os princípios de sustentabilidade), sendo considerando apenas a etapa de descarte do ciclo. Isto teve que ser determinado para que o escopo de trabalho não se tornasse extenso demais, o que comprometeria a viabilidade deste estudo. Da mesma maneira, não foi viável englobar todos os componentes do banco, pois isto implicaria em um trabalho extensamente maior do que o atual. Limitou-se a atacar peças de várias *commodities* de matérias-primas envolvidas e as peças mais pesadas dentro do banco.

Alguns materiais e processos não puderam ser inseridos no cálculos do SimaPRO, tais como: processo de costura – e na parte de materiais, o TEP (Tecido revestido de plástico – mais conhecido como “vinil”), pois estes itens não constavam no SimaPRO. Além disso, o SimaPRO não possui um banco de dados de fixadores, ou seja, porcas, arruelas e parafusos, parametrizados conforme a ISO 8992:2005.

A interface gráfica do SimaPro ainda necessita de melhoras – para conseguir realizar a comparação efetiva entre as alternativas, foi preciso extrair os dados do SimaPRO e construir estes gráficos no Excel.

Há de se ter muito cuidado com modificações realizadas em um produto desenvolvido com esta ferramenta depois que o mesmo já se encontra em produção. Uma modificação inadequada pode prejudicar toda a estratégia de fim de vida traçada originalmente, caso o histórico do desenvolvimento não seja levado em consideração, ou seja, caso a modificação ignore todo os esforço realizado em prol da sustentabilidade, e por consequência comprometer o meio ambiente de maneira não planejada. Este trabalho também não cobre aspectos do pós-descarte que envolva sistemas de coleta de resíduos, fluxo dos materiais e outros aspectos organizacionais necessários para definir o reaproveitamento dos produtos após o fim de vida.

É importante ressaltar que a pontuação serve como referência e apoio para a tomada de decisão. Deve haver sempre espaço para discussão e, caso alguma alternativa

apresente argumentos qualitativos suficientes e for da vontade dos envolvidos no projeto, então esta alternativa pode (e deve) ser conduzida para o próximo estágio de desenvolvimento.

## 5 CONCLUSÃO

A Tabela 12 contém os objetivos propostos e as entregas realizadas para atingi-los, como forma de verificar se o que foi proposto foi realmente alcançado.

**Tabela 12 – Objetivos definidos x Entregas realizadas**

<b>Objetivo Definido</b>	<b>Entrega</b>
Preparação de um modelo aperfeiçoado para o PDP a partir de Stage-gate	Modelo aperfeiçoado descrito no fluxograma da Figura 15, desenvolvido a partir de stage-gate com a abordagem set-based incorporada. Estratégias de fim de vida inseridas conforme descrito na seção 3.2.1 a partir da revisão realizada no capítulo 2.
Definição de estrutura de funcionamento para a ferramenta	Estrutura definida conforme a Figura 16 e descrita nas seções 3.2.2 e no capítulo de resultados.
Desenvolvimento de protótipo para a ferramenta	A ferramenta-protótipo foi apresentada no capítulo 4 de resultados.
Demonstração do funcionamento da ferramenta-protótipo	Um estudo de caso foi apresentado nas seções 3.2.3 e resultados foram descritos na seção 4.5.

Este trabalho contribuiu para a pesquisa de combinação entre assuntos à primeira vista divergentes, tais como o *Stage-gate* e *Set-based*, no sentido de aproximar as duas técnicas originadas de culturas de desenvolvimento distintas, o primeiro sendo oriundo da experiência americana enquanto que o segundo é fruto da abordagem japonesa frente ao desenvolvimento de produto.

Além disso, nesta pesquisa é possível entender de que forma os conceitos de sustentabilidade podem ser incorporados em modelos já bastante utilizados pelas indústrias de uma maneira progressiva, sem causar grandes choques aos dirigentes e projetistas. Assim, um direcionamento foi dado para as empresas que usam o modelo SG e desejam incorporar princípios sustentáveis em modelos de PDP e ainda mais; como elas podem melhorar a eficiência do PDP através da incorporação de abordagem SBD.

A realização de um desenvolvimento de produto utilizando-se a ferramenta proposta neste trabalho resultou na concepção de um produto de acordo com a abordagem SBD, dentro do modelo SG, resultando em um produto com um melhor desempenho do ponto de vista da sustentabilidade.

Para o desenvolvimento de produtos mais sustentáveis, a alternativa mais comumente conhecida é a realização de uma ACV durante o projeto. No entanto, ela só pode ser realizada a partir de um certo nível de detalhamento do produto, o que só ocorre no final

do PDP. A ferramenta proposta conseguiu ir além, a partir de um caráter mais preventivo, pois as especificações de fim de vida são vistas e adotadas desde o primeiro estágio do desenvolvimento – isto foi possível graças ao conceito de espaços de projeto oriundo da abordagem *Set-based*, que permite a flexibilidade necessária para a adoção de especificações nestes estágios iniciais. Quando mais cedo estes critérios forem adotados durante o PDP, melhor estas características estarão incorporadas pelo produto.

O desenvolvimento de um *software* automatizado, que funcione baseado na estrutura de funcionamento proposto por esta ferramenta protótipo, integrado à outros *softwares* de desenvolvimento de produto utilizados pelas empresas representa uma oportunidade para continuidade desta pesquisa. Além disso, algumas melhorias no funcionamento podem ser apontadas: a Tabela de síntese pode incorporar funções para a realização de análises mais aprofundadas, por exemplo: inserir um comando que permitisse, além da verificação da pontuação, a visualização dos valores resultantes para as especificações, permitindo a comparação das performances das alternativas.

As planilhas que se abrem para os estágios consecutivos ao primeiro podem trazer mais informações oriundas do estágio anterior, como o número de alternativas aprovadas e respectivos nomes, além do nível de sustentabilidade selecionado, que normalmente não deve sofrer alterações durante o progresso do PDP.

Quanto à utilização do *Eco-Indicator*, pode ser realizada a complementação a respeito das estratégias de reutilização e reparo, pois houve a necessidade de uma adaptação que pode ser melhorada a partir da correta caracterização da pontuação seguindo a metodologia de pontuação definida em *Eco-Indicator*.

Realizar um estudo de caso onde se utilize os dois outros níveis de sustentabilidade mais agressivos relacionados neste trabalho, obtendo-se assim um comparativo entre os benefícios atingidos com a utilização de cada nível, seria outra complementação possível de ser realizada. A distribuição das estratégias de fim de vida ao longo dos estágios de desenvolvimento também pode ser aprimorada a partir da realização de estudos de caso utilizando-se outros produtos, além de uma consulta com um grupo de especialistas da área de desenvolvimento de produtos sustentáveis.

O critério de pontuação ainda pode ser refinado para melhorar a seleção das alternativas – premiando aquela que obtiver melhores resultados, e não estimulando as equipes de projeto a realizar apenas o necessário para passar para a próxima fase. Pode-se também melhorar a pontuação para a característica Peso, que se mostrou uma das mais críticas ao longo do processo, desde o início. A inclusão de análise da embalagem projetada, a

partir do *gate* 4, em conjunto com a análise das matérias-primas, também representa uma grande contribuição para esta ferramenta, pois em determinados produtos ela assume um papel de grande impacto no Ciclo de vida e conseqüentemente, nos indicadores *Eco-indicator*.

Para a determinação do índice de atendimento das especificações, deve-se levar em conta a capacidade das alternativas em atingir este nível, em função da maturidade das equipes em desenvolver conceitos sustentáveis, da capacidade das equipes de projeto em assimilar as estratégias de fim de vida e transformá-las em características do produto e da criatividade em busca da obtenção de soluções

Outro desenvolvimento envolvendo o SimaPRO seria realizar a adaptação da base de dados para a realidade brasileira (ou da América do Sul), para a melhor fidelidade dos cálculos de impacto com os processos e produtos locais, o que concederia maior robustez e confiabilidade aos resultados. Pode-se perceber também uma necessidade em transformar a interface tornando-a mais amigável, para que usuários do mundo inteiro possam contribuir com o desenvolvimento, estimulando assim o uso, disseminação e progresso.

## 6 REFERÊNCIAS

- ABDON, A.; BACATE, M.; FELIPE, J.; KUMAR, U. Product Complexity and Economic Development. **Working Paper**, v. 616, set. 2010.
- BACK, N.; OGLIARI, A.; DIAS, A.; SILVA, J. C da. **Projeto Integrado de Produtos: planejamento, concepção e modelagem**. Barueri: Manole, 2008.
- BANCO MUNDIAL. **Relatório sobre o desenvolvimento mundial 2000/2001 – Luta contra a pobreza**. Washington D. C., 2001.
- BARBIERI, J. C. **Organizações inovadoras sustentáveis**. In: BARBIERI, J. C.; SIMANTO, M. *Organizações inovadoras sustentáveis: uma reflexão sobre o futuro das organizações*. São Paulo: Atlas, 2007.
- BOGUE, R. Design for Disassembly: a critical twenty-first century discipline. **Assembly Automation**, Okehampton, v. 27, n. 4, p. 285-289, out. 2007.
- BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de Agosto de 2010. **Diário Oficial da União**. Poder Legislativo, Brasília, DF, 3 ago. 2010. Seção 1 p. 3.
- CAMARGO JÚNIOR, A. S.; YU, A. S. O. Engenharia simultânea: uma comparação entre as estratégias *Set-based* e *point-based*. **Revista de Administração**, v.42. n.3, p.326-337, jul. 2007.
- COMUNIDADE EUROPEIA. Directive 2000/53/EC, de 18 de Setembro de 2000. **European Parliament and the Council**.
- COOPER, R. G.; EDGETT, S. J.; KLEINSCHMIDT, E. J. Optimizing the *Stage-gate* process. **Research Technology Management**, v. 45, n. 5, set. 2002.
- COOPER, R. G. Perspective: The *Stage-gate*® Idea-to-Launch Process – Update, What’s New and NexGen Systems. **Journal of Product Innovation Management**. v. 25, n. 3, 213-232, mai. 2008.
- COOPER, R. G. The new product process: A decision guide for management. **Journal of Marketing Management**. v.3, n. 3, 238-255, mar. 1988.
- COOPER, R. G. **Winning at new products: accelerating the process from idea to launch**. Londres: Perseus Publishing, 2001.
- DILLICK, T.; HOCKERTS, K. Beyond the Business Case for Corporate Sustainability. **Business Strategy and the Environment**, v. 11, n. 2, p. 130-141, mar. 2002.
- ELKINTON, J. **Cannibals With Forks: the Triple Bottom Line of 21st Century Business**. Oxford: Capstone, 1997.

- GEHIN, A.; ZWOLINSKI, P.; BRISSAUD, D. A Tool to Implement Sustainable End-of-life Strategies in the Product Development Phase. **Journal of Cleaner Production**, v.16, n. 5, p. 566-576, mar. 2008.
- GERRARD, J.; KANDLIKAR, M. Is European end-of-life vehicle legislation living up to expectations? Assessing the impact of the ELV Directive on 'green' innovation and vehicle recovery. **Journal of Cleaner Production**, Vancouver, v. 15, n. 1, p. 17-27, jan. 2006.
- GOEDKOOP, M. **The Eco-indicator 95**. Final Report. Holanda: PRé Consultants, 1995.
- GOEDKOOP, M.; EFFTING, S.; COLLINGTON, M. **The Eco-indicator 99**. Manual for Designers. Holanda: PRé Consultants B. V., 2000.
- HAWKEN, P.; LOVINS, A.; LOVINS, L. H. **Capitalismo Natural: criando a próxima revolução industrial**. São Paulo: Cultrix-Amana-Key, 1999.
- HEINBERG, R. **What is Sustainability?** In: HEINBERG, R.; LERCH, D. *The Post Carbon Reader: managing the 21<sup>st</sup> century's sustainability crises*. Healdsburg, EUA: Watershed Media, 2010.
- INOUE, M.; LINDOW, K.; STARK, R.; ISHIKAWA, H. Preference *Set-based Design* Method for Sustainable Product Creation. In: 17TH ISPE INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONCURRENT ENGINEERING, 2010, Cracóvia, **Proceedings...** Polônia.
- KLÖPPFFER, W. Life Cycle Assessment: from the beginning to the current state. *Environment Science & Pollution Research*, v. 4, n. 4, p. 223-228, dez. 1997.
- MANZINI, E.; VEZZOLI, C. **O Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis**. São Paulo: editora da universidade de São Paulo, 2008.
- MARK, F. E.; KAMPRATH, A. E. End-of-life Vehicles Recovery and Recycling Polyurethane Seat Cushion Recycling Options Analysis. **SAE Technical Paper**, 2004-01-0249, mar. 2004.
- MARXT, C.; HACKLIN, F.; ROTH LISBERGER, C.; SCHAFFNER, T. End-to-End Innovation: extending the *Stage-gate* model into a sustainable collaboration framework. In: INTERNATIONAL ENGINEERING MANAGEMENT CONFERENCE, 2004, Cingapura, **Proceedings...** Cingapura: [10.1109/IEMC.2004.1408834](http://dx.doi.org/10.1109/IEMC.2004.1408834).
- 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**, v. 15, n. 4, p. 335-346, abr. 2007.
- MONT, O.; PLEPYS, A. Sustainable consumption progress: should we be proud or alarmed? **Journal of Cleaner Production**, v. 16, n. 4, p. 531-537, mar. 2008.
- NAÇÕES UNIDAS. **Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future**. Oxford, 1987.
- PRODUCT ECOLOGY CONSULTANTS. **For You**. Disponível em: <<http://www.pre-sustainability.com/content/for-you>> Acesso em: 17 abr. 2012.



RENAULT. **Annual Report**. Boulogne-Billancourt, 2003.

ROSE, C. M.; STEVELS, A.; ISHII, K. A New Approach to End-of-Life Design Advisor (ELDA). In: IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ELECTRONICS AND ENVIRONMENT, 2000, San Francisco, **Proceedings...** California: 10.1109/ISEE.2000.857632.

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

SAAVEDRA, Y. M. B. **Práticas de Estratégias de Fim de Vida Focadas no Processo de Desenvolvimento de Produtos e suas Aplicações em Empresas que Realizam a Recuperação de Produtos Pós-Consumo**. 2010. 235 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

SOBEK II, D.K. **Principles that shape product development systems: a Toyota-Chrysler comparison**. 1997. Dissertação (Doutorado) — University of Michigan, Michigan, Estados Unidos.

SOBEK II, D.K.; WARD, A.C.; LIKER, J.K. Toyota's Principles of *Set-based* Concurrent Engineering. **Sloan Management Review**, v.40, n.2, p.67-83, dez. 1999.

SILVA, P. G. S. **Inovação Ambiental na Gestão de Embalagens de Bebidas em Portugal**. 2002. 175 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão de Tecnologia) – Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, 2002.

TINGSTROM, J.; SWANSTROM, L.; KARLSSON, R. Sustainability management in product development projects – the ABB experience. **Journal of Cleaner Production**, v. 14, n.15-16, p. 1377-1385, out. 2006.

VERBIC, M.; SLABE-ERKER, R. An econometric analysis of willingness-to-pay for sustainable development: a case study of the Volčji Potok landscape area. **Ecological Economics**, v. 68, n. 5, p. 1316-1328, mar. 2009.

VISINTIN, F.; **La valutazione economica del paesaggio rurale in una zona vitivinicola della Slovenia (Brda)**. 2004. Tese (Doutorado em Economia Agrária)- Curso de Economia, Universidade de Ca'Foscari, Veneza.

WARD, A.; LIKER, J. K.; CRISTIANO, J. J.; SOBEK II, D. K. The Second Toyota Paradox: how delaying decisions can make better cars faster. **Sloan Management Review**, Massachusetts, v. 36, n. 3, p. 43-61, mar. 1995.

WARD, A.; SEERING, W.P. Quantitative Inference in a Mechanical Design “Compiler”. **A.I. Memo**, Massachusetts, n. 1062, jan. 1989.

YOUNG, W.; HWANG, K.; MCDONALD, S.; OATES, C. J. Sustainable Consumption: green consumer behaviour when purchasing products. **Sustainable Development**, Reino Unido, v. 18, n. 1, p. 20-31, jan. 2010.

ZWOLINSKI P.; LOPEZ-ONTIVEROS, M. A.; BRISSAUD, D. Integrated design of remanufacturable products based on product profiles. **Journal of Cleaner Production**, Grenoble, v. 14, n. 15-16, p. 1333-1345, jan. 2006.

**APÊNDICES**

## APÊNDICE A – Especificações de fim-de-vida, pontuações e métricas

O Quadro 5 apresenta a lista de especificações independentes e a pontuação atribuída para cada uma. A pontuação está subdividida em quatro critérios: grau de recuperação atribuído ao produto, grau de contribuição para extensão do ciclo de vida, impacto econômico gerado e contribuição em termos de benefícios ambientais. A última coluna apresenta a pontuação total, que é a pontuação adquirida por uma alternativa caso ela atenda a respectiva especificação.

Já o Quadro 6 contém as especificações independentes, a pontuação para cada uma da mesma maneira que o Quadro 5 e também as métricas para cada um dos três níveis de sustentabilidade, conforme definido na ferramenta.

**Quadro 6 - Especificações Independentes e Pontuação atribuída.**

(continua)

ESPECIFICAÇÃO	PONTUAÇÃO				
	Grau de recuperação do produto	Extensão do ciclo de vida	Impacto econômico	Benefícios ambientais	TOTAL
Tempo de desmontagem	3	3	-2	3	7
Qtde materiais tóxicos	4	4	-3	5	10
Qtde de materiais diferentes	1	3	-2	4	6
Peso	2	1	-2	3	4
Volume (respeitando espec. Segurança)	2	1	-2	3	4
Numero total de componentes	3	2	-2	5	8
Lista de módulos do produto (qtos módulos possuirá?)	3	3	-2	4	8
Qtde de adesivos no produto	3	3	-3	3	6
ΔVU = Delta vida útil mat. Mais resistente - menos resistente)	3	4	-3	4	8
QPRM = Qtde peças plasticas com reforço metálico	3	3	-3	4	7
QEF = Quantidade de elementos de fixação/junção	3	3	-3	4	7

**Quadro 5 – Especificações Independentes e Pontuação atribuída.**

(conclusão)

ESPECIFICAÇÃO	PONTUAÇÃO				
	Grau de recuperação do produto	Extensão do ciclo de vida	Impacto econômico	Benefícios ambientais	TOTAL
ETSS = Extensão total de superfície soldada (metro linear)	3	3	-2	3	7
Tempo de limpeza necessário	2	2	1	3	8
IACQ - Índice de amigabilidade dos componentes químicos presentes (1 - todos os químicos amigáveis)	3	2	-2	5	8
ΔC = Comparativo entre menor ciclo de vida de componente durável x maior ciclo de vida de componente auxiliar	2	3	-3	3	5
RPPL = razão entre qto componentes/qtde prod limpeza	1	1	-1	3	4
<b>ECO Indicator - Matérias-primas</b>	5	5	-3	5	12
área de superfície lisa (m <sup>2</sup> )	2	2	0	1	5
Número de componentes com rastreabilidade	4	3	-3	4	8
Tempo de desmontagem / remontagem	3	2	-2	3	6
Análise no SimaPro	5	5	-3	5	12
CR = % dos componentes que resistiram no ensaio de agentes de limpeza	4	4	-2	3	9

**Quadro 7 - Especificações Independentes, métricas de sustentabilidade e pontuação.**

(continua)

ESPECIFICAÇÃO	MÉTRICA			PONTUAÇÃO				
	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Grau de recuperação	Extensão do ciclo de vida	Impacto econômico	Benefícios ambientais	TOTAL
% de componentes reutilizáveis	minimo 70%	minimo 40%	minimo 5%	5	5	-5	5	10
% de componentes reparados com manutenção	minimo 15%	minimo 40%	minimo 10%	5	4	-3	4	10
% de componentes remanufaturados	minimo 15%	minimo 35%	minimo 30%	4	3	-2	3	8

**Quadro 6 - Especificações Independentes, métricas de sustentabilidade e pontuação.**

(continua)

ESPECIFICAÇÃO	MÉTRICA			PONTUAÇÃO				
	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Grau de recuperação	Extensão do ciclo de vida	Impacto econômico	Benefícios ambientais	TOTAL
% de componentes recicláveis	0%	entre 30 e 50%	minimo 25%	2	1	-2	2	<b>3</b>
% de resíduos	0%	máximo 15%	maximo 30%	1	0	1	0	<b>2</b>
Lista de requisitos de entrada para a concepção do produto	Possui	NA	NA	5	5	-1	5	<b>14</b>
VUM = Média da vida útil dos materiais empregados	VUM > 10 anos	VUM > 7 anos	VUM > 3 anos	5	5	-4	5	<b>11</b>
% de superfícies lisas (m <sup>2</sup> /total)	de 50 a 80%	de 30 a 60%	de 10 a 40%	2	2	0	1	<b>5</b>
% de componentes e materiais recuperáveis identificados	de 80 a 100%	de 50 a 80%	de 20 a 50%	4	3	-2	4	<b>9</b>
Presença de Snap-fits (onde aplicável)	Possui em 100% dos encaixes	Possui em 70% dos encaixes	Possui em 30% dos encaixes	3	3	-2	4	<b>8</b>
Lista descritiva das interfaces entre os módulos	Possui	NA	NA	4	3	-2	3	<b>8</b>
Análise de Valor (verificar integração das funções)	AV p/ 100% dos subsistemas	AV p/ + de 70% dos subsistemas	AV p/ + de 50% dos subsistemas	2	2	-2	3	<b>5</b>
% de componentes de difícil acesso	0% a 20%	20% a 50%	50% a 80%	4	4	-2	4	<b>10</b>
% de elementos de fixação contidos na ISO 8992:2005	100%	de 70 a 99%	de 40 a 69%	2	1	-1	2	<b>4</b>
Análise de modos de quebra (FMEA) das extremidades x custo	Possui FMEA com custos / modo de falha p/ 100% dos modos de falha	Possui FMEA com custos / modo de falha p/ mais de 50% dos modos de falha	Possui FMEA com custos / modo de falha p/ 10% dos modos de falha	3	3	-1	3	<b>8</b>
RFC = razão entre ferramentas necessárias para desmontagem / ferramentas comuns	RFC = 1	1 < RFC < 1,3	1,3 < RFC < 2	4	3	-1	4	<b>10</b>
Lista de componentes reutilizáveis	Possui	Possui	NA	5	3	-3	4	<b>9</b>
% de Pontos de separação identificados	100%	de 70 a 99%	de 40 a 69%	3	3	-2	3	<b>7</b>

**Quadro 6 - Especificações Independentes, métricas de sustentabilidade e pontuação.**

(continua)

ESPECIFICAÇÃO	MÉTRICA			PONTUAÇÃO				
	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Grau de recuperação	Extensão do ciclo de vida	Impacto econômico	Benefícios ambientais	TOTAL
Lista de materiais recuperáveis	Lista detalhada com composição	Apenas lista	-	4	3	-3	4	<b>8</b>
Lista de componentes (com coluna contendo material)	Possui	Possui	NA	3	2	-1	3	<b>7</b>
Lista de componentes (com coluna contendo material) - relação de matéria-prima plástica	Possui	Possui	NA	3	2	-1	3	<b>7</b>
Lista de elementos de fixação utilizados contendo referência ISO e também seu destino de reutilização - % dos elementos de fixação reutilizados	acima de 80%	acima de 60%	acima de 40%	4	5	0	5	<b>14</b>
% de componentes e materiais identificáveis	acima de 80%	acima de 60%	acima de 40%	4	3	-1	4	<b>10</b>
Roadmap de atualizações tecnológicas envolvendo componentes e ações de atualização	Forecast de 20 anos	Forecast de 10 anos	Forecast de 5 anos	4	5	-1	4	<b>12</b>
% de reutilização de produtos com longos ciclos de vida	acima de 80%	acima de 60%	acima de 40%	5	5	-3	5	<b>12</b>
% de componentes com rastreabilidade	100%	de 70 a 99%	de 40 a 69%	4	3	-3	4	<b>8</b>
Lista de substâncias tóxicas com descrição	Possui	NA	NA	4	2	-1	5	<b>10</b>
Lista de soluções para mat. Tóxicos	Lista de tóxicos, com soluções	Lista de tóxicos, sem soluções	NA	2	4	-5	5	<b>6</b>
Descrição de processo de fabricação - análise da proteção associada	Proteção adequada	Proteção existe para corrosão, mas não poluição	NA	4	5	-3	4	<b>10</b>

**Quadro 6 - Especificações Independentes, métricas de sustentabilidade e pontuação.**

(conclusão)

ESPECIFICAÇÃO	MÉTRICA			PONTUAÇÃO				
	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Grau de recuperação	Extensão do ciclo de vida	Impacto econômico	Benefícios ambientais	TOTAL
Instrução de remanufatura contém especificações de junção iguais as do produto inicial	Instrução existe, e é clara	Instrução contempla remanufatura, mas não garante a especificação	NA	3	2	-2	3	<b>6</b>
ICM = Índice de compatibilidade entre materiais	Alto	NA	NA	2	2	-2	3	<b>5</b>
Guia para desmontagem	Possui	Possui	NA	4	4	-1	4	<b>11</b>
Lista de componentes de difícil acesso x ação tomada	Lista com ações	Apenas lista, sem ação	NA	4	4	-2	4	<b>10</b>
Descrição de Processo - verificar conceito das marcações	Instruções de proceso com marcações definidas	NA	NA	1	2	-2	4	<b>5</b>
Instrução de remoção de materiais tóxicos (caso haja)	Instrução existe, e é clara	Instrução existe para remoção, mas não detalha separação	NA	4	3	-1	5	<b>11</b>
Instrução de desmontagem - qtde movimentos	Possui instrução, qtde de movimentos a mínima possível	Possui instrução, qtde movimentos média	Possui instrução, movimentos não quantificados	4	2	-1	3	<b>8</b>
Ss = % Superfície suja após ciclo de utilização	Ss<30%	Ss<60%	Ss<80%	3	3	-2	3	<b>7</b>
Análise do resultado do ensaio de corrosão	Regiões de corrosão aglutinadas	Regiões de corrosão dispersas	NA	5	4	-3	5	<b>11</b>



## APÊNDICE B – Resultados para o desenvolvimento das alternativas BDVS001 a BDVS010

Os quadros contidos neste apêndice representam os resultados encontrados para as alternativas projetadas para o PDP hipotético do banco. As especificações e as métricas dizem respeito ao nível I de sustentabilidade. As pontuações estão apresentadas em colunas para cada alternativa desenvolvido no estágio em questão.

**Quadro 8 - Desempenhos das alternativas BDVS001 a 010 durante o Estágio de Geração de Idéias para o *Gate-review* 1.**

Especificação	Métrica	Unid.	BDVS 001	BDVS 002	BDVS 003	BDVS 004	BDVS 005	BDVS 006	BDVS 007	BDVS 008	BDVS 009	BDVS 010
Tempo de desmontagem	menor ou igual a 30	min.	25	30	35	28	28	20	30	33	26	30
Qtde materiais tóxicos	menor ou igual a 0	un.	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1
Qtde de materiais diferentes	menor ou igual a 16	un.	17	20	22	20	20	14	15	22	13	14
Peso	menor ou igual a 26	kg	28	25	28	27	30	25	26	28	23	26
Volume (respeitando espec. Segurança)	menor ou igual a 48	x0,01 m <sup>3</sup>	47	48	48	47	48	45	48	48	45	48
% de componentes reutilizáveis	minimo 5	%	10	0	0	5	0	25	0	5	15	11
% de componentes reparados com manutenção	minimo 1	%	8	21	0	0	20	8	0	10	0	20
% de componentes remanufaturados	minimo 30	%	13	0	0	30	30	25	0	30	0	30
% de componentes recicláveis	minimo 25	%	40	50	71	36	25	32	0	40	70	26
% de resíduos	maximo 30	%	29	29	29	29	25	10	100	15	15	29

**Quadro 9 - Desempenhos das alternativas desenvolvidas no Primeiro Estágio.**

<b>Especificação</b>	<b>Critério</b>	<b>Unid.</b>	<b>BDVS 002</b>	<b>BDVS 004</b>	<b>BDVS 005</b>	<b>BDVS 006</b>	<b>BDVS 008</b>	<b>BDVS 009</b>	<b>BDVS 010</b>
Tempo de desmontagem	menor ou igual a 30	min.	25	28	30	22	33	25	28
Numero total de componentes	menor ou igual a 95	un.	100	120	104	93	115	92	94
Lista de módulos do produto (qtos módulos possuirá?)	maior ou igual a 4	un.	3	12	9	10	10	9	10
Qtde de adesivos no produto	menor ou igual a 5	un.	4	5	4	5	5	3	4
Qtde de materiais diferentes	menor ou igual a 16	un.	20	20	9	9	22	9	9
Peso	menor ou igual a 26	kg	25	27	30	26	28	24	25
Volume (respeitando espec. Segurança)	menor ou igual a 48	x0,01 m <sup>3</sup>	48	47	48	43	48	45	48
$\Delta$ VU = Delta vida útil mat. Mais resistente - menos resistente)	menor ou igual a 35	adim.	40	35	35	28	40	33	35
% de componentes reutilizáveis	minimo 5%	% / kg	5	5	5	25	5	15	5
% de componentes reparados com manutenção	minimo 10%	% / kg	16	0	10	8	20	0	11
% de componentes remanufaturados	minimo 30%	% / kg	0	30	30	12	15	0	30
% de componentes recicláveis	minimo 25%	% / kg	50	36	30	50	40	70	25
% de resíduos	maximo 30%	% / kg	29	29	25	5	20	15	29
VUM = Média da vida útil dos materiais empregados	VUM > 3 anos	anos	10	4	10	12	6	8	7
% de superfícies lisas (m <sup>2</sup> /total)	de 10 a 40%	%	30	20	30	30	35	28	35
% de componentes e materiais recuperáveis identificados	de 20 a 50%	%	40	30	40	45	20	45	48

**Quadro 10- Resultados encontrados para as alternativas desenvolvidas no Segundo Estágio para o Gate 3**  
(continua)

Especificação	Métrica	Unid.	BDV S004	BDV S005	BDV S006	BDV S009	BDV S010
Presença de Snap-fits (onde aplicável)	Possui em 30% dos encaixes	%	35	20	27	25	38
Análise de Valor (verificar integração das funções)	AV p/ + de 50% dos subsistemas	%	20	35	60	40	60
% de componentes de difícil acesso	maximo 40%	%	35	35	40	25	20
% de elementos de fixação contidos na ISO 8992:2005	minimo 69%	%	70	70	65	72	78
Análise de modos de quebra (FMEA) das extremidades x custo	Possui FMEA com custos / modo de falha p/ 10% dos modos	-	Não Possui	Possui	Possui	Possui	Possui
RFC = razão entre ferramentas necessárias para desmontagem / ferramentas comuns	RFC < 2	adim.	1	1	1,3	1,2	1
% de Pontos de separação identificados	minimo 50%	%	48	60	42	60	70
QPRM = Qtde peças plasticas com reforço metálico	menor ou igual a 5	%	4	4	2	6	2
QEF = Quantidade de elementos de fixação/junção	menor ou igual a 15	un.	14	14	12	11	12
ETSS = Extensão total de superfície soldada (metro linear)	menor ou igual a 10	ml	12	12	8	11	7
Tempo de limpeza necessário	menor ou igual a 16	min.	16	16	17	15	15
Numero total de componentes	menor ou igual a 95	un.	102	106	93	94	91
IACQ - Índice de amigabilidade dos componentes químicos presentes (1 - todos os químicos amigáveis)	maior ou igual a 1	adim.	1	1	1	1	1
$\Delta C$ = Comparativo entre menor ciclo de vida de componente durável x maior ciclo de vida de componente auxiliar	maior ou igual a 15	anos	18	18	10	14	14
Peso	menor ou igual a 26	kg	27	30	26	24	25
Volume (respeitando espec. Segurança)	menor ou igual a 48	x0,01 m <sup>3</sup>	47	49	45	45	48
Tempo de desmontagem	menor ou igual a 30	min.	28	30	23	25	28
<b>ECO = indice resultante dos calculos para o produto</b>	<b>menor ou igual a 30</b>	x100 (adim)	<b>41</b>	<b>45</b>	<b>19</b>	<b>23</b>	<b>29</b>
Lista de elementos de fixação utilizados contendo referência ISO e também seu destino de reutilização ( % dos elementos de fixação reutilizados)	acima de 40%	%	52	50	60	60	70
% de componentes e materiais identificáveis	acima de 40%	%	60	60	45	60	80
Roadmap de atualizações tecnologicas envolvendo componentes e ações de atualização	Forecast de 5 anos	-	Não Possui	Não Possui	Não Possui	Possui	Possui
% de reutilização de produtos com longos ciclos de vida	acima de 10%	%	0	0	25	15	11

**Quadro 9 - Resultados encontrados para as alternativas desenvolvidas no Segundo Estágio para o Gate 3 (conclusão)**

Especificação	Métrica	Unid.	BDV S004	BDV S005	BDV S006	BDV S009	BDV S010
% de componentes com rastreabilidade	minimo 40%	%	60	60	58	55	64
% de superfícies lisas (m <sup>2</sup> /total)	de 10 a 40%	%	35	35	30	28	35

**Quadro 11 – Resultados para o Terceiro estágio de Desenvolvimento para o Gate 4.**

Especificação	Métrica	Unidade	BDSV 009	BDSV 010
ETSS = Extensão total de superfície soldada (metro linear)	menor ou igual a 10	ml	10,4	8
Numero total de componentes	menor ou igual a 95	un.	94	91
QEF = Quantidade de elementos de fixação/junção	menor ou igual a 15	un.	12	21
Peso	menor ou igual a 26	kg	26	25
Volume (respeitando espec. Segurança)	menor ou igual a 48	x0,01 m <sup>3</sup>	45	48
RPPL = razão entre qto componentes/qtde prod limpeza	maior ou igual a 40	adim.	31	30
área de superfície lisa (m <sup>2</sup> )	maior ou igual a 65	%	70	63
Número de componentes com rastreabilidade	maior ou igual a 40	%	55	58
Instrução de desmontagem - qtde movimentos	Possui instrução, movimentos não quantificados	-	Possui	Possui
Tempo de desmontagem / remontagem	menor ou igual a 75	min.	60	58
<b>Analise no SimaPro</b>	<b>menor ou igual a 800</b>	x0,01 Pt	<b>635</b>	<b>714</b>
CR = % dos componentes que resistiram no ensaio de agentes de limpeza	maior ou igual a 90	%	95	96
Ss = % Superfície suja após ciclo de utilização	Ss<80%	%	72	68

**Apêndice C – Avaliação de Impacto Ambiental (via *Eco-Indicator*) das Matérias-primas utilizadas para cada alternativa – realizada no Segundo Estágio para o *Gate 3*.**

Este Apêndice contém as tabelas com as avaliações de impacto ambiental calculadas utilizando a base de dados do *Eco-Indicator*, realizadas durante o Segundo Estágio do Desenvolvimento para as alternativas BDVS004, 05, 06, 08, 09 e 10. A coluna **Matéria-Prima** (MP) contém a descrição das MPs utilizadas. A coluna **Unidade** contém a unidade da respectiva MP, a coluna **Impacto** contém o valor de impacto ambiental referente à 1 quilo da MP, as colunas **Quantidade** e **Total Impacto** demonstram respectivamente a quantidade da matéria-prima utilizada na alternativa analisada e a pontuação de impacto total, representada pela quantidade multiplicada pelo Impacto. Da mesma maneira ocorre com o destino da MP: a **Pontuação total** é a **Pontuação Destino** (de acordo com o *Eco-Indicator*) multiplicada pela quantidade de MP utilizada. As linhas em azul simbolizam as MPs que foram reutilizadas ou reparadas com manutenção e por isso, tiveram o fator de recuperação multiplicado pela **Pontuação Total/MP**. O Total encontrado foi inserido na Especificação correspondente na planilha de Resultados de cada alternativa e contabilizado no resultado final do Segundo Estágio, para o *Gate 3*.

**Quadro 12 - Relação de MPs utilizadas na alternativa BDSV004 e sua pontuação de impacto.**

(continua)

<b>Matéria-prima</b>	<b>Unidade</b>	<b>Impacto</b>	<b>Qtde</b>	<b>Total impacto</b>	<b>Destino?</b>	<b>Pontuação Destino</b>	<b>Pontuação Total/MP</b>	<b>PONTUAÇÃO TOTAL</b>
PP	kg	330	3,669	1210,77	Aterro de PP	3,5	12,8415	1224
Aço	kg	86	3,102	266,772	Remanufatura	-0,65	-2,0163	265
Alumínio	kg	780	1,432	1116,96	Reutilização	-0,9	-1005,264	112
Aço alta liga	kg	910	0,842	766,22	Remanufatura	-0,65	-498,043	268
Aço de baixa liga	kg	110	6,503	715,33	Reciclagem Metais ferrosos	-70	-455,21	260
Aço de baixa liga	kg	110	2,175	239,25	Reciclagem Metais ferrosos	-70	-152,25	87
Aço convertido	kg	94	4,219	396,586	Remanufatura	-0,65	-257,7809	139

**Quadro 12 - Relação de MPs utilizadas na alternativa BDSV004 e sua pontuação de impacto.**

(conclusão)

Matéria-prima	Unidade	Impacto	Qtde	Total impacto	Destino?	Pontuação Destino	Pontuação Total/MP	PONTUAÇÃO TOTAL
PUR bloco de espuma flexível	kg	480	1,875	900	Incineração de PUR	2,8	5,25	905
PEBD (LDPE)	kg	360	1,456	524,16	Reciclagem PE	-240	-349,44	175
PET	kg	380	1,855	704,9	Aterro de PET	3,1	5,7505	711
							<b>TOTAL</b>	<b>4145</b>

**Quadro 13 – Relação de MPs utilizadas na alternativa BDSV005 e sua pontuação de impacto.**

Matéria-prima	Unidade	Impacto	Qtde	Total impacto	Destino?	Pontuação Destino	Pontuação Total/MP	PONTUAÇÃO TOTAL
PP	kg	330	3,669	1210,77	Aterro de PP	3,5	12,8415	1224
Aço	kg	86	3,102	266,772	Reparo/Manufatura	-0,8	-213,4176	53
Alumínio	kg	780	1,432	1116,96	Reciclagem Alumínio	-720	-1031,04	86
Aço alta liga	kg	910	0,842	766,22	Reciclagem Metais ferrosos	-70	-58,94	707
Aço de baixa liga	kg	110	7,503	825,33	Remanufatura	-0,65	-536,4645	289
Aço de baixa liga	kg	110	4,175	459,25	Reciclagem Metais ferrosos	-70	-292,25	167
Aço convertido	kg	94	4,219	396,586	Reparo/Manufatura	-0,8	-317,2688	79
PUR bloco de espuma flexível	kg	480	2,212	1061,76	Incineração de PUR	2,8	6,1936	1068
PEBD (LDPE)	kg	360	1,456	524,16	Reciclagem PE	-240	-349,44	175
PET	kg	380	1,855	704,9	Aterro de PET	3,1	5,7505	711
							<b>TOTAL</b>	<b>4559</b>

**Quadro 14 - Relação de MPs utilizadas na alternativa BDSV006 e sua pontuação de impacto.**

Matéria-prima	Unidade	Impacto	Qtde	Total impacto	Destino?	Pontuação Destino	Pontuação total / MP	PONTUAÇÃO TOTAL
PP	kg	330	0,669	220,77	Reciclagem PP	-210	-140,49	80
Aço	kg	86	3,102	266,772	Remanufatura	-0,65	-173,4018	93
Aço alta liga	kg	910	3,287	2991,17	Reutilização	-0,9	-2692,053	299
Aço de baixa liga	kg	110	9,776	1075,36	Reciclagem Metais ferrosos	-70	-684,32	391
Aço de baixa liga	kg	110	2,348	258,28	Reparo/Manufatura	-0,8	-206,624	52
Aço convertido	kg	94	3,219	302,586	Reutilização	-0,9	-272,3274	30
PUR bloco de espuma flexível	kg	480	2,302	1104,96	Reciclagem química de PUR	-330	-759,66	345
PEBD (LDPE)	kg	360	0,058	20,88	Reciclagem PE	-240	-13,92	7
PET	kg	380	1,5	570	Incineração de PET	-6,3	-9,45	561
							<b>TOTAL</b>	<b>1859</b>

**Quadro 15 - Relação de MPs utilizadas na alternativa BDSV009 e sua pontuação de impacto.**

Matéria-prima	Unidade	Impacto	Qtde	Total impacto	Destino?	Pontuação Destino	Pontuação Total/MP	PONTUAÇÃO TOTAL
PP	kg	330	0,669	220,77	Reciclagem PP	-210	-140,49	80
Aço	kg	86	3,102	266,772	Reutilização	-0,9	-240,0948	27
Alumínio	kg	780	0,14	109,2	Reciclagem Alumínio	-720	-100,8	8
Aço alta liga	kg	910	0,842	766,22	Reutilização	-0,9	-689,598	77
Aço de baixa liga	kg	110	11,206	1232,66	Reciclagem Metais ferrosos	-70	-784,42	448
Aço convertido	kg	94	4,219	396,586	Reciclagem Metais ferrosos	-70	-295,33	101
PUR bloco de espuma flexível	kg	480	2,212	1061,76	Incineração de PUR	2,8	6,1936	1068
PEBD (LDPE)	kg	360	0,058	20,88	Reciclagem PE	-240	-13,92	7
PET	kg	380	1,5	570	Incineração de PET	-6,3	-9,45	561
							<b>TOTAL</b>	<b>2377</b>

**Quadro 16 - Relação de MPs utilizadas na alternativa BDSV010 e sua pontuação de impacto.**

<b>Matéria-prima</b>	<b>Unidade</b>	<b>Impacto</b>	<b>Qtde</b>	<b>Total impacto</b>	<b>Destino?</b>	<b>Pontuação Destino</b>	<b>Pontuação Total/MP</b>	<b>PONTUAÇÃO TOTAL</b>
PP	kg	330	0,669	220,77	Aterro de PP	3,5	2,3415	223
Aço	kg	86	3,317	285,262	Remanufatura	-0,65	-185,4203	100
Aço alta liga	kg	910	2,727	2481,57	Reutilização	-0,9	-2233,413	248
Aço de baixa liga	kg	110	4,694	516,34	Reciclagem Metais ferrosos	-70	-328,58	188
Aço de baixa liga	kg	110	1,817	199,87	Remanufatura	-0,65	-129,9155	70
Aço de baixa liga	kg	110	3,198	351,78	Incineração de Aço	-32	-102,336	249
Aço convertido	kg	94	4,819	452,986	Reparo/Manufatura	-0,8	-362,3888	91
PUR bloco de espuma flexível	kg	480	2,345	1125,6	Incineração de PUR	2,8	6,566	1132
PEBD (LDPE)	kg	360	0,058	20,88	Reciclagem PE	-240	-13,92	7
PET	kg	380	1,5	570	Aterro de PET	3,1	4,65	575
							<b>TOTAL</b>	<b>2883</b>



## **ANEXOS**

## ANEXO A – Tabelas Eco-indicator (adaptadas do *Eco-indicator 99 Manual*)

Este anexo contém as tabelas com os valores de impacto para produto e processo empregados no cálculo do impacto ambiental (realizado durante o Estágio 2) das matérias-primas utilizadas pelas alternativas desenvolvidas, conforme as Figuras 33 a 35. As tabelas contém as seguintes informações:

- O **Tipo** do material ou processo utilizado;
- O Valor do impacto no **Indicador** a partir da sua utilização;
- Uma **descrição** sobre sua utilização e contexto.

As tabelas contém em seus títulos e em algumas descrições a **unidade** (normalmente, de milipontos por quilo).

**Tabela 13 – Valores do *Eco-indicator* para processos de produção de metais (em milipontos por kg).**

<b>Tipo</b>	<b>Indicador</b>	<b>Descrição</b>
Ferro fundido	<b>240</b>	Fundido com mais de 2% de carbono na composição
Aço convertido	<b>94</b>	Material em bloco contendo apenas aço primário
Aço tipo electro	<b>24</b>	Material em bloco contendo apenas aço secundário
Aço	<b>86</b>	Material em bloco com 20% de refugo (média)
Aço alta liga	<b>910</b>	Material em bloco contendo 71% de aço primário, 16% Cr, 13% Ni
Aço de baixa liga	<b>110</b>	Material em bloco contendo 93% aço primário, 5% de refugo e 1% metais ligados
Alumínio 100% reciclado	<b>60</b>	Feito completamente de material secundário
Alumínio	<b>780</b>	Feito completamente de material primário
Cobre primário	<b>1400</b>	Cobre eletrolítico primário oriundo de empresas Norte-americanas relativamente modernas
Cromo	<b>970</b>	Feito completamente de material primário
Chumbo	<b>640</b>	Feito completamente de material primário
Zinco	<b>3200</b>	Feito completamente de material primário (qualidade de revestimento)

**Tabela 14 – Valores para processamento de metais (em milipontos).**

(*Continua*)

<b>Tipo</b>	<b>Indicador</b>	<b>Descrição</b>
Conformação de aço	<b>0,00008</b>	Uma lâmina de 1 mm sobre uma largura de 1 metro; ângulo reto
Conformação de alumínio	<b>0,000047</b>	Uma lâmina de 1 mm sobre uma largura de 1 metro, ângulo reto
Brasagem	<b>4000</b>	Por kg brasado, incluso material necessário (45% de prata, 27% cobre e 25% estanho)
Corte de aço	<b>0,00006</b>	Uma lâmina de 1 mm sobre uma largura de 1 metro
Corte de alumínio	<b>0,000036</b>	Uma lâmina de 1 mm sobre uma largura de 1 metro
Produção de chapas	<b>30</b>	Por quilo produzido a partir do material em bloco
Laminação (à frio)	<b>18</b>	Por passada, por m <sup>2</sup> , redução de 1 mm

**Tabela 14 – Valores para processamento de metais (em milipontos).****(Conclusão)**

<b>Tipo</b>	<b>Indicador</b>	<b>Descrição</b>
Prensagem	<b>23</b>	Aço deformado/quilo, não incluir partes não deformadas!
Extrusão de alumínio	<b>72</b>	Por quilo
Revestimento de Zinco	<b>49</b>	Por m <sup>2</sup> , 1 micrometro de espessura, material incluso
Solda-ponto de alumínio	<b>2,7</b>	Por ponto de solda de 7mm de diâmetro. Espessura da chapa de 2mm
Usinagem	<b>800</b>	Por dm <sup>3</sup> de material usinado (torneamento, fresagem, escareação)
Galvanização à quente	<b>3300</b>	Por m <sup>2</sup> , 100 micrometros, incluindo zinco
Galvanização Eletrolítica	<b>130</b>	Por m <sup>2</sup> , 2,5 micrometros, dupla face, dados imprecisos
Eletrólise (de Cromo)	<b>1100</b>	Por m <sup>2</sup> , 1 micrometro de espessura, dupla face, dados imprecisos

**Tabela 15 - Processamento de plástico granulado (em milipontos por kg).**

<b>Tipo</b>	<b>Indicador</b>	<b>Descrição</b>
ABS	<b>400</b>	Alta entrada de energia para produção, conseqüentemente alta emissão na saída
PEAD (HDPE)	<b>330</b>	Processo de produção relativamente simples
PEBD (LDPE)	<b>360</b>	Índice possivelmente achatado devido a não emitir CFC
Borracha EPDM	<b>360</b>	Vulcanizada com 44% de carbono, moldagem inclusa
PA (6,6)	<b>630</b>	Alta entrada de energia para produção, conseqüentemente alta emissão na saída
PC	<b>510</b>	Alta entrada de energia para produção, conseqüentemente alta emissão na saída
PET	<b>380</b>	Alta entrada de energia para produção, conseqüentemente alta emissão na saída
PET grauduação de garrafa	<b>390</b>	Utilizado para garrafas
PP	<b>330</b>	Processo de produção relativamente simples
PS de alto impacto (HIPS)	<b>360</b>	Poliestireno de alto impacto
PUR absorvedor de energia	<b>490</b>	
PUR bloco de espuma flexível	<b>480</b>	Para móveis, camas e roupas
PUR espuma rígida	<b>420</b>	Utilizado em bens brancos, isolamento e materiais de construção
PVC alto impacto	<b>280</b>	Sem estabilizador metálico (Pb ou Ba) e sem plastificante
PVC (rígido)	<b>270</b>	PVC rígido com 10% de plastificante (estimativa)
PVC (flexível)	<b>240</b>	PVC flexível com 50% de plastificante (estimativa)

**Tabela 16 - Processamento de plásticos (em milipontos por kg).**

<b>Tipo</b>	<b>Indicador</b>	<b>Descrição</b>
Moldagem comum por injeção (PE, PP, PS, ABS)	<b>21</b>	Por quilo de material, este valor também pode ser usado como estimativa para extrusão
Moldagem por injeção de PVC e PC	<b>44</b>	Por quilo de material, este valor também pode ser usado como estimativa para extrusão
Moldagem por injeção de reação (RIM) de PUR	<b>12</b>	Por quilo de material
Extrusão a sopro de PE	<b>2,1</b>	Por quilo, para garrafas e semelhantes
Vácuo formagem	<b>9,1</b>	Por quilo
Formagem à pressão	<b>6,4</b>	Por quilo
Calandragem de PVC	<b>3,7</b>	Por quilo
Solda ultrasom	<b>0,098</b>	Por metro de comprimento soldado
Usinagem	<b>6,4</b>	Por dm <sup>3</sup> de material usinado (torneamento, fresagem, escareação)

**Tabela 17 – Produção de materiais de embalagem (em milipontos por kg)**

<b>Tipo</b>	<b>Indicador</b>	<b>Descrição</b>
Papelão	<b>69</b>	Absorção do CO <sub>2</sub> na fase de crescimento não está considerado
Papel	<b>96</b>	Contendo 65% de papel descartado, absorção do CO <sub>2</sub> na fase de crescimento não está considerado
Vidro (marrom)	<b>50</b>	Vidro de embalagem contendo 61% de vidro reciclado
Vidro (verde)	<b>51</b>	Vidro de embalagem contendo 99% de vidro reciclado
Vidro (branco)	<b>58</b>	Vidro de embalagem contendo 55% de vidro reciclado

**Tabela 18 - Produção de outros materiais (em milipontos por kg)**

<b>Tipo</b>	<b>Indicador</b>	<b>Descrição</b>
Cerâmica	<b>28</b>	Tijolos, etc.
Construção Maciça	<b>1500</b>	Estimativa por m <sup>3</sup> de volume
Construção Metálica	<b>4300</b>	Estimativa por m <sup>3</sup> de volume
Uso do solo	<b>45</b>	Ocupado como território urbano em m <sup>2</sup> /ano
Madeira (prancha)	<b>39</b>	Madeira da Europa (critério FSC), serrada em pranchas, sem conservantes
Madeira (maciça)	<b>6,6</b>	Madeira da Europa (critério FSC), serrada em pranchas, sem conservantes

**Tabela 19 - Produção de energia (em milipontos)**

<b>Tipo</b>	<b>Indicador</b>	<b>Descrição</b>
Aquecimento à gás (boiler) – por MJ	<b>5,4</b>	Combustão a gás em boiler atmosférico (<100kW) com baixo NO <sub>x</sub>
Aquecimento à óleo (boiler) – por MJ	<b>5,6</b>	Combustão de óleo em caldeira de 10kW
Aquecimento à carvão (caldeira industrial) – por MJ	<b>4,2</b>	Combustão de carvão em caldeira industrial (1-10MW)
Combustão de madeira – por MJ	<b>1,6</b>	Combustão de madeira, desconsideradas absorção e emissão de CO <sub>2</sub>
Energia solar (fachada m-Si) – por kWh	<b>9,7</b>	Instalação pequena, com células monocristalinas, usadas em fachadas de construções
Energia solar (teto m-Si) – por kWh	<b>7,2</b>	Instalação pequena, com células monocristalinas, usadas em tetos de construções
Eletricidade (alta voltagem) na Europa – por kWh	<b>22</b>	Acima de 24kVolts - por kWh, para uso industrial
Eletricidade (baixa voltagem) – Europa (UCPTE) – por kWh	<b>26</b>	Baixa voltagem (<1000V)

**Tabela 20 - Transporte (em milipontos por tkm)****(continua)**

<b>Tipo</b>	<b>Indicador</b>	<b>Descrição</b>
Van de entrega < 3,5 T	<b>140</b>	Transporte rodoviário com carga de 30% (média europeia com retorno incluso)
Caminhão 16T	<b>34</b>	Transporte rodoviário com carga de 40% (média europeia com retorno incluso)
Caminhão 28T	<b>22</b>	Transporte rodoviário com carga de 40% (média europeia com retorno incluso)
Caminhão 28T (volume)	<b>8</b>	Transporte rodoviário por m <sup>3</sup> km. Utilizar quando volume for fator limitante, e não o peso

**Tabela 20 - Transporte (em milipontos por tkm)****(conclusão)**

<b>Tipo</b>	<b>Indicador</b>	<b>Descrição</b>
Caminhão 40T	<b>15</b>	Transporte rodoviário com carga de 50% (média europeia com retorno incluso)
Cargueiro continental	<b>5,1</b>	Transporte marítimo com 65% de carga (média europeia com retorno incluso)
Cargueiro oceânico	<b>1,1</b>	Transporte marítimo com 54% de carga (média europeia com retorno incluso)
Transporte aéreo padrão	<b>78</b>	Transporte aéreo com 78% de carga (padrão para vôos de carga)
Transporte aéreo continental	<b>120</b>	Boing 737 com carga de 62%
Transporte aéreo intercontinental	<b>72</b>	Boing 767 ou MD11 com carga de 71%
Trem	<b>3,9</b>	Por tonelada quilometro, média europeia para 80% tração elétrica e 20% por diesel

**RESIDUOS PROCESSADOS E RECICLADOS (em milipontos por kg)****Tabela 21 – Reciclagem de Resíduos (em milipontos por kg)**

<b>Tipo</b>	<b>Indicador</b>			<b>Descrição</b>
	<b>Total</b>	<b>Processo</b>	<b>Produto Evitado</b>	
Reciclagem PE	<b>-240</b>	86	-330	Se não misturado com outros plásticos
Reciclagem PP	<b>-210</b>	86	-300	Se não misturado com outros plásticos
Reciclagem PS	<b>-240</b>	86	-330	Se não misturado com outros plásticos
Reciclagem PVC	<b>-170</b>	86	-250	Se não misturado com outros plásticos
Reciclagem Papel	<b>-1,2</b>	32	-33	Evita produção de papel virgem
Reciclagem Papelão	<b>-8,3</b>	41	-50	Evita produção de papelão virgem
Reciclagem Vidro	<b>-15</b>	51	-66	Evita produção de vidro virgem
Reciclagem Alumínio	<b>-720</b>	60	-780	Evita produção de alumínio primário
Reciclagem Metais ferrosos	<b>-70</b>	24	-94	Evita produção de aço primário

**Tabela 22 – Tratamento de resíduos (em milipontos por kg)****(continua)**

<b>Tipo</b>	<b>Indicador</b>	<b>Descrição</b>
<b>Incineração</b>		Em incinerador moderno com recuperação de calor e tratamento dos gases de combustão
Incineração de PE	<b>-19</b>	Indicador pode ser usado para HDPE e LDPE
Incineração de PP	<b>-13</b>	
Incineração de PUR	<b>2,8</b>	Indicador para todos os tipos de PUR
Incineração de PET	<b>-6,3</b>	
Incineração de PS	<b>-5,3</b>	Rendimento energético relativamente baixo, pode ser utilizado também para ABS, HIPS, GPPS, EPS
Incineração de Nylon	<b>1,1</b>	Rendimento energético relativamente baixo
Incineração de PVC	<b>37</b>	Rendimento energético relativamente baixo
Incineração de PVDC	<b>66</b>	Rendimento energético relativamente baixo
Incineração de Papel	<b>-12</b>	Alto rendimento energético, emissão de CO2 desconsiderada

**Tabela 22 – Tratamento de resíduos (em milipontos por kg)**

**(conclusão)**

<b>Tipo</b>	<b>Indicador</b>	<b>Descrição</b>
<b>Incineração</b>		Em incinerador moderno com recuperação de calor e tratamento dos gases de combustão
Incineração de Papelão	<b>-12</b>	Alto rendimento energético, emissão de CO2 desconsiderada
Incineração de Aço	<b>-32</b>	Separação magnética de 40% para reciclagem, evitando aço bruto (média europeia)
Incineração de Alumínio	<b>-110</b>	Separação magnética de 15% para reciclagem, evitando alumínio primário
Incineração de Vidro	<b>5,1</b>	Material quase inerte, indicador pode ser utilizado para outros materiais inertes
<b>Aterro</b>		Aterro em local controlado
Aterro de PE	<b>3,9</b>	
Aterro de PP	<b>3,5</b>	
Aterro de PET	<b>3,1</b>	
Aterro de PS	<b>4,1</b>	Indicador pode ser usado para aterro de ABS
Aterro de espuma EPS	<b>7,4</b>	Espuma PS, 40kg/m <sup>3</sup> , grande volume
Aterro de espuma 20kg/m <sup>3</sup>	<b>9,7</b>	Aterro de espuma tipo PUR com 20kg/m <sup>3</sup>
Aterro de espuma 100kg/m <sup>3</sup>	<b>4,3</b>	Aterro de espuma tipo PUR com 100kg/m <sup>3</sup>
Aterro de Nylon	<b>3,6</b>	
Aterro de PVC	<b>2,8</b>	Excluindo a filtragem do estabilizador de metal
Aterro de PVDC	<b>2,2</b>	
Aterro de Papel	<b>4,3</b>	Emissão de CO2 e metano desconsiderada
Aterro de Papelão	<b>4,2</b>	Emissão de CO2 e metano desconsiderada
Aterro de Vidro	<b>1,4</b>	Material quase inerte, indicador pode ser utilizado para outros materiais inertes
Aterro de Aço	<b>1,4</b>	Material quase inerte, indicador pode ser utilizado para materiais ferrosos
Aterro de Alumínio	<b>1,4</b>	Material quase inerte, indicador válido para alumínio primário e reciclado
Aterro de 1m <sup>3</sup> de volume	<b>140</b>	Aterro de volume por m <sup>3</sup> , para resíduos volumosos, como espuma e outros produtos