



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM**  
**ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

Claudete Barbosa Ruschival

**PROPOSTA DE UMA SISTEMÁTICA PARA O REDESIGN**  
**DE PRODUTOS PARA A REMANUFATURA**  
**TESE**

Florianópolis

2012



Claudete Barbosa Ruschival

**PROPOSTA DE UMA SISTEMÁTICA PARA O REDESIGN  
DE PRODUTOS PARA A REMANUFATURA**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Doutora em Engenharia de Produção.  
Orientador: Prof. Fernando Antônio Forcellini. Dr.

Florianópolis

2012

Catálogo na fonte elaborada pela biblioteca  
da  
Universidade Federal de Santa Catarina

R951p Ruschival, Claudete Barbosa

Proposta de uma sistemática para o redesign de produtos para remanufatura [tese] / Claudete Barbosa Ruschival ; orientador, Fernando Antônio Forcellini. Florianópolis, SC, 2012.

262 p.: il., grafs., tabs.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

Inclui referências

1. Engenharia de produção. 2. Processos de fabricação. 3. Design. 4. Produtos industrializados. I. Forcellini, Fernando Antônio. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. III. Título.

CDU 658.5

Claudete Barbosa Ruschival

**PROPOSTA DE UMA SISTEMÁTICA PARA O REDESIGN  
DE PRODUTOS PARA A REMANUFATURA**

Esta Tese foi julgada adequada para obtenção do Título de “Doutora” e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

Florianópolis, 21 de março de 2012.

---

Prof. Antônio César Bornia, Dr.  
Coordenador do Curso

**Banca Examinadora:**

---

Fernando Antônio Forcellini, Dr.  
Orientador  
Universidade Federal de Santa  
Catarina

---

Eugenio Andrés Díaz Merino, Dr  
Universidade Federal de Santa  
Catarina

---

Marcelo Gitirana G. Ferreira, Dr  
Universidade Federal de Santa  
Catarina

---

Paulo César Machado Ferroli, Dr  
Universidade Federal de Santa  
Catarina

---

Célio Teodorico dos Santos, Dr  
Universidade do Estado de Santa  
Catarina

---

Nelson Kuwahara, Dr  
Universidade Federal do Amazonas



## Dedicatória.

Aos amores da minha vida Paola e Marina (filhas) e Thomas Ruschival (marido) pelo carinho, compreensão e apoio incondicional que me ajudaram a chegar até aqui.

A Dora, minha irmã querida, sempre disposta a ajudar e contribuir para o meu crescimento intelectual e moral.



## AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente a todos que de uma forma ou de outra contribuíram para a realização da minha qualificação profissional. Em especial quero agradecer a:

Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM), que por meio do programa RH-POSGRAD com bolsa de estudo e auxílio-instalação tornou possível minha permanência junto com a minha família em Florianópolis.

A Universidade Federal do Amazonas pelo incentivo e investimento no meu desenvolvimento profissional e aos professores do Departamento de Design e Expressão Gráfica que assumiram as minhas disciplinas para que eu pudesse realizar este curso. Meus mais sinceros agradecimentos as amigas Sheila Cordeiro Mota, Magnólia Quirino e Patrícia Braga e aos amigos Helder Alexandre Amorim e Nelson Kuwahara.

A Universidade Federal de Santa Catarina pela oportunidade concedida para a realização deste estudo, e aos professores do Programa de Pós-Graduação pelos conhecimentos transmitidos.

As empresas e profissionais do PIM e profissionais das Instituições de Ensino Superior que colaboraram com a pesquisa de campo, contribuindo com sugestões que melhoraram significativamente o resultado da sistemática e da pesquisa.

Ao meu orientador Prof. Fernando Antônio Forcellini pela confiança depositada, pela orientação e amizade dispensadas que tornou possível a conclusão deste trabalho.

Aos amigos e colegas do GEPP pela amizade, carinho e apoio recebidos. Em especial agradeço ao amigo Luiz Alberto Schimtz e sua esposa Mari, pela confiança e por estender a mão no momento de necessidade, a Fernanda Steinbruch Araújo (Fê) pelo companheirismo, apoio e por nossas parcerias nas publicações, e a Ana Paula Barquet que se tornou para mim um exemplo de dedicação a pesquisa. Muito obrigada a todos.



É essencial compreender as propriedades dos produtos para fácil remanufatura e reutilização, e desenvolver metodologias de apoio ao design de novos 'produtos sustentáveis'.

Zwolinski e Brissaud (2008)



## RESUMO

RUSCHIVAL, Claudete Barbosa. **Proposta de uma sistemática para o redesign de produtos para remanufatura**. 2012. 262 p. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

A remanufatura é uma estratégia de fim de vida de produtos que promove a extensão da vida útil dos produtos e a reutilização de materiais, que proporciona tanto a prevenção de resíduos quanto a gestão de materiais. Entretanto, existe pouco conhecimento e pesquisas sobre remanufatura em geral, sobretudo relacionadas às atividades de design necessárias para se obter um produto remanufaturável. Esta pesquisa propõe uma sistemática do processo de redesign de produtos para a remanufatura, em que são ilustrados os componentes e os fluxos do processo de redesign, bem como as principais atividades executadas em seu domínio. A validação da sistemática foi feita por revisão com consulta a especialistas da área de desenvolvimento de produtos, aplicando o método Delphi para se buscar o consenso das opiniões sobre a sistemática proposta. O resultado da avaliação mostrou que, na percepção dos especialistas, o processo de redesign proposto contém os procedimentos e as atividades necessárias para se obter um produto remanufaturável, possuindo adequacidade e aplicabilidade para orientar o redesign de produtos existentes à remanufatura, mostrando-se viável para uso industrial.

**Palavras-chave:** remanufatura, redesign de produtos, design para o meio ambiente, desenvolvimento de produtos.



## ABSTRACT

RUSCHIVAL, Claudete Barbosa. **Proposal of a systematic approach for redesign products for remanufacturing.** 2012. 262 p. Thesis (Ph.D.). Graduate Program in Production Engineering, Universidade Federal de Santa, Florianópolis, 2012.

Remanufacturing is a strategy for the end-of-life of products that promotes the extension of life of the product and reuse of its materials. It allows for waste prevention or reduction and material management during manufacturing. Due to lack of general knowledge and research on viable processes for remanufacturing, particularly related to design activities necessary to implement remanufacturing, remanufacturing is not wide-spread. This research proposes a systematic process for redesigning products for remanufacturing to illustrate the components and redesign of process flows, as well as the main activities performed in the specific domains. Validation of the systematic process was done by consulting experts in the field of product development, applying the Delphi method to seek consensus on the proposed approach. The evaluation result showed that the proposed redesign process contains all procedures and activities necessary to obtain a remanufacturable product. The experts consider the process as adequate and applicable to guide the redesign of existing products to remanufacturing, thus being a valid model for industrial use.

**Keywords:** remanufacture, redesign of products, design for environment



## LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Ciclo de vida do produto e custos ambientais. ....	43
Figura 02: Estágios do Ciclo de Vida .....	44
Figura 03 : Ciclo de vida do produto e fluxo de materiais .....	45
Figura 04 Fases de ACV segundo ISO 14040 .....	49
Figura 05: Estratégias de fim de vida. ....	53
Figura 06 : Modelo do Processo de Desenvolvimento de produtos .....	63
Figura 07 : Macrofase de Pós-desenvolvimento .....	64
Figura 08: Representação de um sistema técnico .....	70
Figura 09: Matriz Indicadora de Módulos .....	72
Figura 10: Matriz Morfológica .....	73
Figura 11: Matriz de Interfaces.....	73
Figura 12: Etapas genéricas do processo de remanufatura.....	82
Figura 13: Máquina de Vendas.....	85
Figura 14: Relações da Casa da Qualidade.....	110
Figura 15: HOQ para DFRem de um motor de arranque.....	111
Figura 16: Fase 1 do QFD para remanufatura.....	112
Figura 17:Fase 2 do QFD para remanufatura.....	112
Figura 18: Processo de Reutilização da Xerox Corporation .....	114
Figura 19: Agrupamento e ligações entre os critérios.....	116
Figura 20: Problemática inicial do produto remanufaturável.....	118
Figura 21: Estrutura de avaliação da remanufaturabilidade do produto.....	119
Figura 22: Mecanismos de reparação do DNA .....	121
Figura 23: Modelo de decisão de projeto para reutilização, remanufatura ou reciclagem.....	125
Figura 24: Exemplo do modelo do Diagrama IDEF0 .....	127
Figura 25: Decomposição em IDEF0 .....	128
Figura 26 : Design do produto remanufaturável a partir do contexto da empresa .....	132
Figura 27: Domínio da sistemática .....	145
Figura 28: Fases do processo de redesign de produtos para Remanufatura .....	146
Figura 29: Identificação das atividades das fases do Processo de Redesign para Remanufatura.....	147
Figura 30: Proposta Preliminar da Sistemática de Redesign de Produtos para Remanufatura.....	149
Figura 31: Fase 1- Requisitos de Redesign para Remanufatura.....	150
Figura 32: Fase 2 - Estrutura Funcional de Remanufatura.....	152
Figura 33: Fase 3 - Re-design Conceitual Remanufaturável.....	153
Figura 34: Fase 4 - Re-design detalhado Remanufaturável .....	155
Figura 35: Faturamento do Pólo Industrial de Manaus, até jul de 2010, por setores de atividades .....	158
Figura 36: Atividades genéricas do Delphi.....	164
Figura 37: Escala utilizada pelos especialistas para avaliar a sistemática de ReDFRem.....	173

Figura 38: Pareceres dos entrevistados sobre o uso de métodos e ferramentas que auxiliam o redesign de produtos para remanufatura. ....	184
Figura 39: Pareceres dos entrevistados sobre os requisitos que avaliam as etapas do processo de remanufatura .....	185
Figura 40: Pareceres dos entrevistados sobre o uso de guias e orientações de remanufatura para o redesign do produto. ....	186
Figura 41: Pareceres dos especialistas sobre os aspectos ambientais para o redesign de produtos remanufaturáveis .....	188
Figura 42: Pareceres dos especialistas sobre o redesign modular e as atualizações e inserção de novas funções no produto. ....	189
Figura 43: Pareceres dos entrevistados sobre os aspectos montagem e desmontagem do produto.....	190
Figura 44: Pareceres dos entrevistados sobre a representação gráfica da estrutura da sistemática para realizar o redesign do produto remanufaturável. ....	191
Figura 45: Pareceres dos entrevistados sobre as etapas, procedimentos e atividades ilustradas para orientar o processo de redesign de produtos para a remanufatura.....	192
Figura 46: Pareceres dos entrevistados sobre a segunda aplicação Delphi.....	197
Figura 47: Sistemática de Redesign para Remanufatura.....	201
Figura 48: Princípios modulares.....	207
Figura 49: Exemplo de tipos de encaixe .....	207
Figura 50: Desdobramento da atividade Estabelecer Soluções.....	208

## LISTA DE QUADROS

Quadro 01: Classificação da pesquisa.....	36
Quadro 02: Estratégias genéricas de DFE.....	42
Quadro 03: Estratégias de Design.....	48
Quadro 04: Orientações para a desmontagem e a reciclagem de produtos .....	60
Quadro 05: Comparação entre remanufatura, recondiçionamento e reparação..	80
Quadro 06: Principais elementos que compõem o produto remanufaturável.....	90
Quadro 07: Diretrizes de Design para o DFRem. ....	97
Quadro 08 : Especificações de Design para Remanufatura .....	100
Quadro 09: Estimativas de custo da remanufatura com base nos tipos de fixadores sobre o ciclo de vida do produto .....	102
Quadro 10: Prioridades de algumas metodologias DFX.....	103
Quadro 11: Design do produto para facilitar as etapas de remanufatura.....	104
Quadro 12: Matriz RemPro.....	108
Quadro 13: Quadro de categorias FMEA .....	122
Quadro 14 : Resumo dos principais trabalhos estudados. ....	138
Quadro 15: Orientações e parâmetros para a formulação da estrutura da sistemática de ReDFRem.....	143
Quadro 16: Questões e critérios de julgamento utilizados para avaliar a sistemática .....	172
Quadro 17: Perguntas que podem ajudar a identificar restrições de remanufaturabilidade. ....	211



## LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Matriz de Análise Ambiental do Produto.....	46
Tabela 02: Matriz de Análise Ambiental do Processo.....	46
Tabela 03: Empresas instaladas e produzindo no PIM .....	167
Tabela 04: Empresas contatadas/realizam atividades ligadas a projeto de produtos .....	168
Tabela 05: Pesquisadores contatados /realizam atividades ligadas a projeto de produtos .....	168
Tabela 06: Percentuais para a avaliação de consenso, segundo a distribuição de votos em uma pesquisa Delphi. ....	176
Tabela 07: Pontuação e anotação das categorias da escala de votação .....	177
Tabela 08: Perfil dos especialistas que participaram da pesquisa .....	182
Tabela 09: Resultado da avaliação do critério Aplicabilidade na primeira rodada Delphi. ....	187
Tabela 10: Resultado da avaliação do critério Adequacidade na primeira rodada Delphi. ....	190
Tabela 11: Resultado da avaliação do critério Estrutura.....	192
Tabela 12: Perfil dos especialistas que participaram da segunda rodada da pesquisa .....	194
Tabela 13: Resultados das avaliações não consensuais sobre a percepção do entrevistado quanto à evidência dos critérios da segunda aplicação Delphi ....	197



## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

SNSA Secretaria Nacional de Saneamento AmbientalDFRem Design for Remanufactre

DFX Design for X

DFE Design for Environment

DFR Design for Recyclability

DFLC Design for Life Cycle

DFD Design for Disassembly

DFA Design for Assembly

DFM Design for Manufacture

ACV Análise do Ciclo de Vida

SETAC Society for Environmental Toxicology and Chemistry

PFD Plan for Disassembly - Planejamento para a Desmontagem

ANRAP Associação Nacional dos Remanufaturadores de Autopeças

OEM Original Equipment Manufacturing

RemPro Remanufacturing Property Matrix

ELDA End-of-Life Design Advisor

PSS Product System Service

QFD Quality Function Deployment

HOQ House Of Quality

PPR Perfil do Produto Remanufaturável

REPRO2 REmanufacturig with PROduct PROfiles

FMEA Failure Modes and Effects Analysis

OCC número ocorrência de falhas

DET capacidade de detectar falha

REP reparação de falhas

RDPM Remanufacturing Design Platform Model

IDEF0 modelo analítico genérico do processo de negócio de Remanufatura

SADT Structured Analysis and Design Technique

VDI 2221 Metodologia de design utilizada pela Sociedade Alemã de Engenharia

DFMA Design for Manufacture end Assembly

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>29</b>
1.1 Problema de pesquisa e justificativa .....	31
1.2 Objetivo Geral.....	34
1.3 Objetivos Específicos.....	34
1.4 Materiais e Métodos.....	35
1.5 Delimitação da pesquisa.....	36
1.6 Relevância da pesquisa .....	37
1.7 Estrutura do Trabalho.....	38
<b>2 DESIGN E MEIO AMBIENTE .....</b>	<b>39</b>
2.1 Design para o Meio Ambiente .....	39
2.1.1 Ciclo de Vida do Produto.....	42
2.1.2 Avaliação do Ciclo de Vida do Produto.....	49
2.1.3 Estratégias de fim de vida do produto.....	52
2.2 Design para Desmontagem .....	55
2.3 O processo de Desenvolvimento de Produtos .....	61
2.3.1 O processo de redesign.....	66
<b>3 REMANUFATURA.....</b>	<b>76</b>
3.1 conceito e caracterização.....	76
3.2 O Processo de Remanufatura .....	81
3.3 Características do produto remanufaturável.....	85
3.4 Design para Remanufatura (DFRem).....	87
3.4.1 Métodos e ferramentas de DFRem.....	98
3.4.1.1 Requisitos de Design para Remanufatura .....	99
3.4.1.2 Características de design que dificultam e que auxiliam a remanufatura .....	101
3.4.1.3 Custo da Remanufatura em relação a outras estratégias de fim de vida do produto.....	102
3.4.1.4 Remanufatura e métodos DFX.....	103
3.4.1.5 End-of-Life Design Advisor – ELDA.....	106
3.4.1.6 PSS e Remanufatura.....	107
3.4.1.7 QFD como apoio ao DFRem.....	109
3.4.1.8 Asset Recovery Management Program.....	113
3.4.1.9 REPRO2 - Caracterização do produto remanufaturável .....	115
3.4.1.10 Métricas para Remanufaturabilidade .....	118
3.4.1.11 Método da analogia biológica para o DFRem.....	120
3.4.1.12 FMEA para Remanufatura .....	121
3.4.1.13 Remanufacturing Design Platform Model (RDPM) .....	123

3.4.1.14	Modelo de decisão para reutilização, manufatura ou reciclagem.....	124
3.4.1.15	Modelo do processo de negócio de manufatura - IDEF0..	126
3.5	Planejamento da produção e controle das atividades de manufatura .....	129
3.6	As questões do mercado de manufatura.....	131
3.7	Considerações sobre o capítulo.....	135
<b>4</b>	<b>DESENVOLVIMENTO DA SISTEMÁTICA DE REDESIGN PARA MANUFATURA .....</b>	<b>144</b>
4.1	Glossário de termos .....	144
4.2	Modelagem inicial do sistema .....	145
4.3	Descrição da Sistemática .....	150
<b>5</b>	<b>METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DA SISTEMÁTICA DE REDESIGN PARA MANUFATURA.....</b>	<b>156</b>
5.1	Materiais e métodos.....	156
5.1.1	Caracterização e justificativa do campo de estudo selecionado – O Pólo Industrial de Manaus.....	157
5.1.2	Definição da amostragem da pesquisa.....	160
5.1.3	Método e técnica de coleta de dados.....	161
5.2	A Pesquisa Delphi.....	162
5.2.1	Seleção dos especialistas .....	165
5.2.1.1	Seleção dos Especialistas das Empresas do PIM.....	166
5.2.1.2	Seleção dos Especialistas da Academia .....	168
5.2.1.3	Elaboração do Questionário Delphi .....	168
5.3	Método de Análise dos dados e medição do consenso em Delphi .....	174
<b>6</b>	<b>RESULTADOS, ANÁLISES E DISCUSSÕES.....</b>	<b>180</b>
6.1	Primeira rodada Delphi.....	181
6.1.1	Avaliação do primeiro questionário.....	182
6.1.1.1	Critério Aplicabilidade .....	183
6.1.1.2	Critério Adequacidade .....	187
6.1.1.3	Critério Estrutura .....	190
6.2	Segunda rodada Delphi.....	194
6.2.1	Avaliação do segundo questionário .....	195
6.3	Discussão sobre as duas aplicações Delphi.....	198
6.4	A Sistemática de Redesign para Manufatura – remodelação .....	199
6.4.1	Fase Indutiva.....	202
6.4.1.1	Definir Requisitos de Redesign .....	203
6.4.1.2	Estabelecer Soluções de Redesign .....	206

6.4.2	Fase Configurativa .....	209
6.4.2.1	Desenvolver Soluções .....	209
6.4.2.2	Detalhar Redesign .....	212
<b>7</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>215</b>
7.1	Limitações e Recomendações .....	218
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>220</b>
	<b>APÊNDICES.....</b>	<b>235</b>



## 1 INTRODUÇÃO

A partir da Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, ou Eco 92 realizada no Rio de Janeiro, observou-se uma clara tendência no mundo para a melhoria das políticas ambientais aliadas ao desenvolvimento econômico, em que se buscaram por alternativas para a produção industrial que minimizassem os impactos ambientais negativos. Assim, surgiram estratégias de gestão ambiental cujos custos de gestão dos resíduos foram integrados pelos fabricantes, resultando em incentivos diretos para projetar produtos recicláveis.

Com a legislação ambiental européia denominada Legislação *Take-Back* ou ainda *End-of-life vehicle* (ELV) e *Waste Electrical and Electronic Equipment* (WEEE) (GEYER; WASSENHOVE; ATASU, 2007), que atribui aos fabricantes a responsabilidade pela recuperação e reciclagem de seus produtos, várias empresas se viram obrigadas a dar um destino ambientalmente mais adequado aos seus produtos em fim de vida e a avaliar o impacto de suas atividades sobre o meio ambiente.

Em face disso, acredita-se que no futuro muitas empresas terão de se responsabilizar por todos os aspectos ambientais associados a seus produtos e seus impactos sobre a sociedade, a fim de ajudar a proteger e preservar o funcionamento de um ambiente mais habitável. Assim, como afirmam Mutha e Pokharel (2009), a consciência ambiental sugere hoje que as leis se tornem cada vez mais rigorosas a fim de garantir um futuro mais sustentável.

A título de exemplo, no Brasil a aprovação de leis ambientais responsabiliza alguns segmentos da indústria pela coleta e destinação ambientalmente adequadas dos seus resíduos. As leis estaduais números 3.369 do Rio de Janeiro e 9.921 do Rio Grande do Sul responsabilizam as empresas distribuidoras de óleo lubrificante e aditivos automotivos pela coleta e destino das embalagens pós-consumo (PIRES, 2009).

O Diagnóstico Analítico da Situação da Gestão Municipal de Resíduos Sólidos no Brasil, realizado pela Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental - SNSA (2003), mostrou que houve nos últimos anos um aumento significativo na quantidade do resíduo sólido urbano coletado, provavelmente decorrente do aumento de mudanças nos padrões de consumo. Segundo essa pesquisa, atualmente o consumo de embalagens e produtos descartáveis é maior do que há dez anos. Isto porque a quantidade de lixo aumentou de 100 mil toneladas em 1989

para 154 mil toneladas em 2000, um aumento de 54%, enquanto que a população cresceu 15,6%, apresentando um crescimento desproporcional entre a população e o seu processo de desenvolvimento pela quantidade de lixo gerado (SNSA, 2003).

Nota-se, portanto, que o consumismo em massa trouxe um aumento significativo da oferta de bens manufaturados e do uso de recursos naturais não renováveis. Em longo prazo, acredita-se, a produção sustentável só poderá ser atingida por meio da concepção de produtos ecologicamente mais responsáveis ou sustentáveis, e do desenvolvimento de estratégias em que novos produtos após o consumo sejam desmontados para reuso e reaproveitamento de peças e materiais, reduzindo emissões e o consumo de energia.

Para reduzir custos e emissões, e ainda atender as atuais e futuras legislações ambientais, as indústrias podem considerar alternativas mais vantajosas e eficazes do que a eliminação, que possam fornecer oportunidades para a recuperação do valor econômico empregado na fabricação de seus produtos como, por exemplo, a remanufatura.

A remanufatura é uma estratégia de fim de vida de produtos que pode ser rentável e menos prejudicial ao meio ambiente do que a reciclagem, a incineração e aterros, porque atribui valor aos resíduos dos produtos por devolvê-los às condições iniciais de funcionamento.

Envolve a restauração de produtos usados, a remodelação de peças e a introdução de novos componentes quando necessário. Como estratégia de fim de vida, promove a extensão da vida útil dos produtos e a reutilização de materiais, proporcionando ao mesmo tempo a prevenção de resíduos e a gestão de materiais.

O produto para remanufatura ou remanufaturável possui características que tornam possível recuperar seu estado físico e funcional de tal forma que podem suportar, pelo menos, mais um ciclo de vida completo com garantia equivalente a de um produto novo. Exige menos energia para ser produzido e pode fornecer economia de custos de produção em comparação com a produção convencional. Permite ainda que as empresas realizem maiores lucros do que se os materiais constitutivos de seus produtos fossem reciclados.

O ideal, nesse caso, seria criar os produtos desde a fase de concepção com qualidades de remanufaturabilidade. Mas, o que se observa nas publicações sobre o assunto é que os produtos não são criados pensando no seu reaproveitamento. Assim, para alcançar os

benefícios da remanufatura é importante torná-la parte integrante do processo de desenvolvimento de produtos.

### 1.1 PROBLEMA DE PESQUISA E JUSTIFICATIVA

Um problema para a sociedade e para as empresas é o que fazer com os produtos quando chegam ao seu fim de vida e precisam ser descartados. Para a sociedade isso representa prejuízos ambientais que ameaçam o esgotamento dos recursos naturais que passam a interferir na qualidade de vida e na saúde da população. Para as empresas representa desperdícios econômicos que podem ser agravados por imposições de leis ambientais.

Uma forma de contornar esse cenário é a criação de produtos que durante o ciclo de vida apresentem melhor desempenho no uso dos recursos empregados na fabricação e que, ao atingir o fim de vida, possam ser desmontados para reaproveitamento. A remanufatura é uma das estratégias de fim de vida que vem ao encontro desses anseios.

As empresas que apostam na remanufatura como estratégia de fim de vida podem encontrar nesse processo vantagens como, por exemplo, a redução de despesas com a produção e aquisição de peças, já que não exige a produção contínua de peças e componentes. E mais, a estrutura tecnológica necessária para remanufatura é relativamente pequena se comparada à estrutura para reciclar material, uma vez que as atividades relacionadas ao seu processo estão ligadas a desmontagem, remontagem, recuperação e troca de peças.

Algumas das vantagens que as empresas poderiam se beneficiar remanufaturando seus produtos seriam:

Publicidade na conduta pró-ativa da empresa na conservação ambiental e contribuição social (geração de empregos e oferta de produtos de baixo custo);

Potencialidade na redução de custos na fabricação de peças de reposição de determinados produtos (reduzir obrigações de produção de peças após a saída do produto da linha de produção).

Embora a argumentação de Zwolinski e Brissaud (2008) seja de que o processo de adaptação de produtos para remanufatura é um custo elevado para tornar o negócio rentável, Hammond; Amezquita; Brás (1998) e Sundin (2004), por exemplo, apresentam estudos de casos nos Estados Unidos, Canadá, Suécia e Japão respectivamente em que produtos adaptados para remanufatura é um negócio lucrativo.

Apesar dos benefícios apontados, os fabricantes de produtos originais geralmente não se interessam em remanufaturar seus produtos, pois não consideram que este pode ser um negócio rentável. Em sua maioria, a prática da remanufatura é realizada por terceiros que aproveitam o valor intrínseco dos produtos para remanufaturá-los. No entanto, o processo de adaptação dos produtos para remanufatura é feito geralmente de forma empírica, o que denota a necessidade de procedimentos mais sistemáticos para melhorar a eficiência e a eficácia desse processo.

Para atuar no ramo de remanufatura a empresa pode: ser a fabricante original do produto e ela mesma decide remanufaturá-lo; a remanufatura do produto pode ser terceirizada para outra empresa, ou; a empresa pode perceber uma oportunidade econômica para remanufaturar um produto a preços significativamente mais baixos do que o produto novo, mas, neste caso, ela não possui qualquer ligação com o fabricante original do produto. Nos dois primeiros casos a remanufatura é facilitada porque se tem controle sobre todos os dados do produto. Na situação em que a remanufatura é realizada por terceiros, tem o inconveniente da falta de informações e detalhes técnicos sobre o produto, o que significa que o processo de adaptação do produto à remanufatura é realizado, provavelmente, por meio da engenharia reversa.

Mesmo no caso de empresas que fabricam e que também remanufuram seus produtos, parecem não adotar um procedimento sistemático para essa transição do projeto, uma vez que não foi citado nas fontes bibliográficas pesquisadas qualquer relato da existência de um método ou processo de design específico para projetar produtos remanufuráveis.

Relatos sobre produtos projetados na prática para reaproveitamento, entre os quais é citado a remanufatura, foram encontrados nos estudos de Berko-Boateng *et al* (1993), Amezquita et al (1995) e U.S. Congress (1992) referindo os produtos da Xerox Corporation. Contudo, não discutiam ou apresentavam o processo de como o projeto para remanufatura era realizado.

O processo de adaptação de produtos para remanufatura pode ser facilitado por meio de métodos e ferramentas de design de produtos, que oriente quanto aos procedimentos e atividades a realizar para se obter um produto remanufurável. Contudo, verificou-se que existe a necessidade de conhecimentos mais específicos sobre remanufatura, sobretudo relacionada aos aspectos de design.

Nesse contexto, os autores pesquisados apresentam recomendações sobre o que considerar para adaptar produtos à remanufatura, mas abordagens com um roteiro ou estrutura gráfica organizada especificamente para orientar as equipes de desenvolvimento a realizar o redesign ou adaptação do produto para a remanufatura, não foram encontradas. Quando preocupados com esta temática, os pesquisadores centram-se na avaliação da potencialidade do produto para remanufatura, e não no seu design ou redesign, evidenciando, portanto, que existe uma lacuna a ser preenchida.

Outra questão relevante diz respeito ao foco das pesquisas, que geralmente priorizam os aspectos técnicos de remanufaturabilidade do produto, não abordando os impactos ambientais das características de remanufatura da primeira produção, nem de outros ciclos de uso que o produto irá passar, importantes para a produção sustentável. Tal consideração é reforçada por Ijomah (2009) quando afirma que existe a necessidade de se estabelecer diretrizes em design orientadas para remanufatura baseadas no conceito de ciclo de vida, que considere os impactos das características de remanufaturabilidade inseridas no produto desde a manufatura inicial.

A essa prática que enfatiza as questões relacionadas com o processo de remanufatura ao longo de todo o processo de desenvolvimento do produto é chamada de Design para Remanufatura ou *Design for Remanufacture* - DFRem.

Percebe-se, portanto, que projetar produtos remanufaturáveis requer conhecimentos sobre o ciclo de vida do produto para definir conscientemente suas propriedades e considerar o processo de remanufatura em cada fase. Isto pode ser alcançado com a utilização de um modelo ou sistemática das atividades de redesign como apoio a tomada de decisão para as equipes de desenvolvimento.

Dessa forma, faz-se necessário o desenvolvimento de métodos e ferramentas específicas de DFRem para a adaptação de produtos para a remanufatura, que oriente quanto aos procedimentos e atividades a realizar para se obter um produto remanufaturável, apoiando oportunidades de negócio para empresas que recebem o produto de volta para reaproveitamento.

Diante disso, o problema fundamental desta tese pode ser apresentado mediante os seguintes questionamentos:

1 - Considerando o ciclo de vida do produto, quais aspectos e eventuais recomendações terão que ser observados no redesign de produtos para a remanufatura?

2 - Quais etapas, procedimentos e atividades são indicados para orientar o processo de redesign de produtos para a remanufatura?

Na intenção de responder a tais questionamentos, parte-se do pressuposto que as limitações e recomendações de remanufatura estão relacionadas com a estrutura física, qualidade da peça, materiais e outros requisitos do produto, inclusive ambientais, bem como com as etapas do processo de remanufatura. Essas recomendações se consideradas durante o processo de redesign poderiam contribuir, por um lado, para melhorar o processo de remanufatura e, por outro, prevenir erros básicos que poderiam impedir a remanufatura devido a um erro de projeto, ou seja, ajudaria as equipes de desenvolvimento a projetar pensando na remanufatura. Pressupõe-se, ainda, que a sistematização das atividades do processo de redesign com etapas e ferramentas adequadas que auxilie a tomada de decisão, pode levar a remanufaturabilidade de produtos com melhores soluções de projetos.

Considerando a discussão apresentada, os objetivos para esta pesquisa são:

## 1.2 OBJETIVO GERAL

Propor uma sistematização do processo de redesign de produtos para a remanufatura, a fim de auxiliar a tomada de decisões das equipes de desenvolvimento durante a atividade de obtenção do produto remanufaturável.

## 1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Levantar informações sobre todos os aspectos do produto e do processo de remanufatura, a fim de identificar, analisar e relacionar os principais elementos que caracterizam o produto remanufaturável;
- Analisar e discutir modelos, técnicas e ferramentas de design para a remanufatura, considerando procedimentos e atividades mais adequadas para estabelecer critérios para o redesign de produtos para remanufatura;
- Definir uma estrutura para a sistemática com base nas atividades do processo de design de produtos;

- Avaliar a sistemática por meio de consulta a especialistas visando detectar falhas, realizar ajustes e verificar sua viabilidade.

#### 1.4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para este estudo se fez, a partir de documentação indireta, uma pesquisa bibliográfica em fontes secundárias de publicações científicas que tratam de estudos, métodos e ferramentas do Design para o Meio Ambiente, com abordagem específica sobre remanufatura e ciclo de vida do produto, a fim de descobrir quais os aspectos que já foram abordados na literatura, bem como quais as lacunas que não foram preenchidas pelas investigações existentes no campo da remanufatura.

Para a revisão da literatura, optou-se por uma abordagem indutiva a partir de uma revisão sistemática da literatura que consiste em três etapas: definir o objetivo, identificar a literatura e selecionar o estudo (SAMPAIO e MANCINI, 2007).

Isto posto, a estratégia de busca priorizou as palavras-chaves relacionadas com as temáticas que representam os conteúdos pertinentes a este estudo: *Design for Remanufacturing, Remanufacture, Product Life Cycle, End-of-Life, Design for Disassembly, Eco-design, Life Cycle Assessment*, engineering design, product design bem como as traduções para o Português. Foram identificados os principais autores nas áreas citadas e os documentos analisados e organizados a partir da semelhança da informação e de acordo com os objetivos deste estudo. Para análise dos modelos e ferramentas de DFRem encontrados na literatura, foi utilizado um formulário (Apêndice A) em que se relacionou as informações referentes a estrutura e os procedimentos propostos pelos pesquisadores em seus estudos, bem como as vantagens e desvantagens de cada um.

Para o desenvolvimento da sistemática, adaptou-se o princípio da técnica de modelagem apresentada por Ijomah, Childe; McMahon (2004) para ilustrar os componentes e os fluxos existentes no sistema, bem como as principais atividades executadas nesse domínio, em que se buscou inicialmente modelar o sistema a partir da identificação dos elementos principais que a compõe a fim de determinar sua amplitude. A estruturação das fases da sistemática foi com base no princípio do processo de design de produtos. Após se estabelecer as fases, o próximo passo foi a configuração da sistemática do processo, integrando procedimentos e atividades. Tendo em vista atingir os objetivos propostos, posteriormente a sistemática foi avaliada.

Considerando que a finalidade deste estudo é propor procedimentos sistemáticos que auxiliem equipes de projeto na atividade de aptar produtos para remanufatura, técnicos e especialistas que trabalham com o desenvolvimento de produtos foram consultados para avaliação da proposta, e conseqüente revisão para viabilidade. Tal procedimento foi utilizado por Ijomah e Childe (2007) que por meio de um painel de especialistas da área da indústria e da academia realizaram avaliação para verificação da viabilidade do modelo por eles proposto. O método aplicado para coleta e análise dos dados foi o estudo Deplhi, realizado em duas rodadas.

Assim sendo, e diante das características apresentadas, esta pesquisa é de abordagem qualitativa, em que se procurou encontrar nas referências já publicadas sobre remanufatura informações que resultam fundamentais para o desenvolvimento da tese. É de natureza aplicada, pois objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática na problemática identificada que, nesta pesquisa, trata-se da falta de métodos de design para remanufatura. É também de objetivos exploratórios, que se busca familiaridade com o problema por meio de levantamento bibliográfico e entrevistas com pessoas, envolvendo o uso de formulários para coletar opiniões e pontos de vista de especialistas da área de desenvolvimento de produtos sobre a sistemática proposta (SILVA e MENEZES, 2005). O quadro a seguir apresenta um resumo da classificação da pesquisa.

CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	
Método	Indutivo
Natureza	Aplicada
Abordagem	Qualitativa
Objetivos	Exploratórios
Procediment os técnicos	Bibliográfico e de campo

Quadro 01: Classificação da pesquisa

## 1.5 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

São bastante amplas as atividades que envolvem o desenvolvimento de um produto, que vão desde o planejamento do projeto até sua configuração final, o que exige tempo, recursos e um grupo multidisciplinar para alcançar um resultado satisfatório. Por isso, se faz necessário estabelecer algumas limitações para facilitar o alcance dos objetivos propostos por esta pesquisa.

A sistemática proposta é para o redesign de um produto já lançado no mercado, as necessidades do projeto já foram estabelecidas, mas as necessidades de remanufatura ainda devem ser identificadas. É a partir da identificação dessas necessidades de remanufatura que o redesign será iniciado. Considera-se, portanto, a partir da etapa do processo de desenvolvimento em que se procuram soluções para as necessidades de remanufatura detectadas, pois é a partir deste momento que se determina a estrutura das funções que o produto irá desempenhar e quando as decisões mais importantes sobre o produto são tomadas. A sistemática é também para as empresas chamadas Fabricantes de Produtos Originais que decidem remanufaturar ou terceirizar a remanufatura de seus produtos, cujas informações essenciais de projeto estão disponíveis.

Como nem todo produto possui características que permitem remanufaturá-lo, por questões de viabilidade técnica, econômica e de mercado, antes de qualquer decisão ele deve ser avaliado para verificar seu potencial para remanufatura. Para esta atividade existem algumas recomendações que são citadas ao longo deste estudo que podem ser aplicadas pelas equipes de desenvolvimento, assim, para a sistemática proposta, considera-se que o produto foi avaliado e possui potencialidade para remanufatura, ou seja, a análise de viabilidade de remanufatura do produto não será um foco especificamente aqui tratado, embora se reconheça que esta é uma etapa fundamental para todo o processo.

## 1.6 RELEVÂNCIA DA PESQUISA

Em um contexto científico, a relevância do tema desta pesquisa está determinada pela falta de métodos de DFRem para apoio às equipes de projeto que realizam atividades de desenvolvimento de produtos para remanufatura. Muitos pesquisadores recomendam estratégias ou diretrizes para realizar o design do produto para melhorar o processo de remanufatura, contudo não são mostrados os caminhos de como aplicá-las enquanto se está projetando. Para as empresas, o interesse pelo tema é vinculado pela necessidade de se ampliar o mercado e oferecer produtos com preços competitivos e de qualidade, diferenciando-se da concorrência e, ainda, os governos e o mercado internacional estão tornando cada vez mais restritiva a legislação ambiental. No tocante ao interesse do tema para a sociedade, este está em proporcionar uma melhora da qualidade de vida da população mediante o acesso a produtos de qualidade e preocupados com o meio ambiente.

## 1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

O Capítulo 1 apresenta a introdução da pesquisa, contextualizando e justificando o tema abordado, os objetivos e os materiais e métodos utilizados.

O Capítulo 2 contém a etapa do estudo que consiste no conhecimento e análise dos diferentes fatores ambientais e de projeto ligados ao processo de Design. Se discute, portanto, o Design para o Meio Ambiente com ênfase nas estratégias de fim de vida do produto, os conceitos de Ciclo de Vida do Produto e da Avaliação do Ciclo de Vida, em que se abordam as questões relacionadas à criação de produtos ambientalmente amigáveis, com o aspecto de desmontagem tido como prioritário.

O Capítulo 3 discute remanufatura como estratégia fundamental para o reaproveitamento de peças e produtos em fim de vida. O processo de remanufatura é analisado para relacionar os principais elementos que caracterizam o produto remanufaturável. Modelos, técnicas e ferramentas de design para remanufatura também são discutidos.

O Capítulo 4 apresenta a Sistemática de Redesign para Remanufatura para adaptação de produtos à remanufatura, que se destina as equipes de desenvolvimento para realizar o redesign de produtos remanufaturáveis. Apresenta-se uma exposição geral sobre o que se considerou para desenvolver o modelo, assim como o princípio básico do mesmo. Finalmente se descreve a sistemática baseando-se no processo de redesign de produtos.

O Capítulo 5 apresenta a metodologia adotada para a avaliação da sistemática proposta, em que se especificam os critérios de escolha da amostragem, a técnica de coleta e tratamento de dados bem como os critérios de avaliação adotados para validar a sistemática.

O Capítulo 6 apresenta os resultados da investigação Delphi que avalia a Sistemática de Redesign para Remanufatura, com a finalidade de avaliar se a sistemática contempla os procedimentos e as atividades necessárias para orientar adequadamente o processo de redesign de produtos para a remanufatura. Ao final do capítulo, se apresenta a remodelação da sistemática, conforme as sugestões e críticas recebidas dos especialistas para torná-la mais clara, objetiva e aplicável.

O Capítulo 7 apresenta as conclusões da pesquisa, as limitações e recomendações finais.

## 2 DESIGN E MEIO AMBIENTE

Este capítulo discute Design para o Meio Ambiente com ênfase nas estratégias de fim de vida do produto. Os conceitos de Ciclo de Vida do Produto e da Avaliação do Ciclo de Vida são discutidos, abordando questões relacionadas à criação de produtos ambientalmente amigáveis, com o aspecto de desmontagem tido como prioritário. O design de produtos é também discutido, em que figura o processo de redesign como fundamental para definir e formalizar os procedimentos de uma sistemática para remanufaturabilidade de produtos.

### 2.1 DESIGN PARA O MEIO AMBIENTE

Ao se conceber um produto, as decisões relativas à fabricação, distribuição, comercialização, uso e serviços devem considerar os aspectos ambientais em cada etapa do processo de desenvolvimento, a fim de reduzir os danos causados ao meio ambiente durante seu ciclo de vida. Nessa abordagem, o processo de design pode ser considerado como o estágio que tem grande influência sobre o impacto ambiental, uma vez que abrange uma ampla gama de atividades no desenvolvimento de produtos, que inclui a escolha de materiais e processos de fabricação adequados para minimizar a quantidade de resíduos industriais.

Nesse contexto, o processo de design pode ser descrito como um conjunto de decisões tomadas para tentar conciliar um conjunto específico de requisitos do produto ecologicamente mais responsável ao economicamente viável, visto que é na fase inicial do processo de design que se define de 60% a 80% do custo final do produto (DUFFY et al, 1993), e que se pode obter, também, cerca de 10% a 20% de benefícios somente com a melhora no processo de desmontagem (DESAI e MITAL, 2003).

O Design para o Meio Ambiente (Design for Environment – DFE), Design para Reciclabilidade (Design for Recyclability – DFR), Design para o Ciclo de Vida (Design for Life Cycle – DFLC) e Design para Desmontagem (Design for Disassembly – DFD), entre outros, aparecem com a proposta de reduzir o impacto ambiental por meio do redesign dos produtos (O’ SHEA, 2002). Concentram esforços na fase de definição do produto, momento em que existe maior retorno para se conseguir produtos ecologicamente mais responsáveis. Cada um desses instrumentos é exclusivo, mas todos procuram melhorar o desempenho do produto nas fases iniciais do projeto durante o estudo do ciclo de vida (HOLTS e BARNES, 2010; ROSE; STEVELS; ISHII, 2000).

Essas metodologias fazem parte do escopo do Design for X que abrange uma ampla gama de atividades que inclui a extração da matéria-prima, fabricação, transporte e fase de uso. Design for X ou DFX é uma abordagem integrada para a concepção de produtos e processos para a relação custo-eficiência e de gestão do ciclo de vida. Trata-se de um conjunto de métodos e ferramentas que ajudam a tomada de decisões importantes de projeto no processo de desenvolvimento, em que X representa um aspecto que é afetado pela função de design. Outra interpretação de DFX é para Design de Excelência, ou seja, quando todos os aspectos são considerados no projeto o design seria considerado excelente (SHEU e CHEN, 2004).

O 'X' no DFX pode representar também um dos objetivos da metodologia como, por exemplo, o Design para Montagem (Design for Assembly - DFA), em que a estimativa do tempo de montagem do produto é usada para orientar as mudanças de design para a redução dos custos finais de produção e, Design para Manufatura (Design for Manufacture – DFM), que considera simultaneamente os objetivos de design e as restrições de manufatura do produto. A união dos métodos de DFA e DFM trouxe grandes benefícios como a simplificação dos produtos, redução dos custos de montagem e fabricação, melhoria da qualidade e redução do time to market (KUO et al, 2001).

Assim como o DFA e o DFM, o Design para o Meio Ambiente ou DFE traz considerações sistemáticas durante o processo de desenvolvimento, adicionando as questões de segurança ambiental e de saúde durante o ciclo de vida do produto, o que permite que equipes de desenvolvimento criem produtos eco-eficientes sem comprometer seu custo, qualidade e restrições diversas (FIKSEL e WAPMAN, 1994). Para Fiksel e Wapman (1994), um produto eco-eficiente pode ser definido como aquele que tanto minimiza impactos ambientais adversos, quanto maximiza a conservação de recursos valiosos ao longo do seu ciclo de vida. Design para o Meio Ambiente ou Design for Environment, entre os termos tratados na literatura, tem como sinônimos os termos Ecodesign, Green Design, Sustainable Product Development e Environmentally Friendly Design.

As decisões tomadas em DFE têm efeito em todas as fases do ciclo de vida do produto, que inclui fabricação, transporte, operação, manutenção e eliminação, para integrar os requisitos ambientais no processo de desenvolvimento do produto, identificando e avaliando os diferentes tipos de requisitos, como os técnicos, ergonômicos, econômicos, jurídicos, ambientais e culturais (HUNDAL, 2000).

O DFE pressupõe que todo produto tem impacto sobre o meio ambiente que deve ser considerado e reduzido em todas as etapas ao longo do seu ciclo de vida, buscando (HAUSCHILD; JESWIET; ALTING, 2005):

- Fabricar sem produzir resíduos perigosos;
- Utilizar tecnologias limpas;
- Reduzir as emissões químicas e o consumo de energia;
- Usar materiais recicláveis não-perigosos;
- Utilizar materiais reciclados e componentes reutilizáveis
- Realizar design para a facilidade de desmontagem
- Projetar para reutilização ou reciclagem em fim de vida.

Neste sentido, DFE pode ser definido como o conjunto de atividades ligadas ao desenvolvimento de produtos cujo objetivo é fazer considerações ambientais no ciclo de vida completo do produto, aumentando competitividade e acrescentando valor de mercado para reduzir custos e cumprir com as existentes e futuras legislações ambientais (BOVEA, 2002).

Bovea (2002) relaciona ainda algumas estratégias genéricas que são aplicadas durante o design de produtos para alcançar os requisitos ambientais em DFE (Quadro 02).

<b>Categorias</b>	<b>Estratégias</b>
Extensão da vida do Produto	Duração adequada Assegurar a adaptabilidade Incrementar a confiabilidade Estender as opções de serviço Simplificar a manutenção Facilitar a reparação Permitir a remanufatura Facilitar a reutilização
Extensão da vida do material	Facilitar a reciclagem Usar materiais reciclados
Seleção do Material	Substituição de materiais Reformulação
Conservação de recursos	Redução de material
Gestão do produto	Substituir por melhores processos Uso de energia e material eficientes Melhora de controle dos processos Controle de inventários Redução de impactos Tratamento adequado

Distribuição eficiente	Otimizar o transporte Reduzir embalagens e materiais
Melhora da gestão	Uso eficiente de materiais Fornecedores mais responsáveis Eco-etiquetados e publicidade

Quadro 02: Estratégias genéricas de DFE

Fonte: Bovea, 2002.

Conforme apresenta o Quadro 02, o Design para o Meio Ambiente procura tomar as melhores decisões durante o projeto do produto, de modo que os atributos ambientais sejam mantidos em um nível desejado para minimizar os custos e prejuízos ambientais nas fases do ciclo de vida. Incide principalmente sobre o início da fase de concepção para assegurar que as conseqüências ambientais do ciclo de vida serão levadas em consideração antes de quaisquer decisões sobre a produção.

As razões para incorporar o Design para o Meio Ambiente, portanto, dependem das estratégias de cada empresa, e requer esforços de produtores e fabricantes para adotar seus princípios nas fases do ciclo de vida, incluindo extração da matéria prima, fabricação, transporte, utilização e descarte.

### **2.1.1 Ciclo de Vida do Produto**

O conceito de ciclo de vida do produto, na teoria, pode ser encontrado em duas abordagens: a primeira descreve a evolução de um produto medida por sua venda ao longo do tempo e; a segunda, que se refere à transformação da matéria-prima de um produto por meio da produção e utilização até a sua eliminação final. Sob esta perspectiva se encontram dois pontos de vista, o que observa a evolução do produto orientado por sua comercialização e outro que abrange o aspecto de produção e utilização (ÖSTLIN; SUNDIN; BJÖRKMAN, 2009). Na primeira abordagem, o produto passa pelas etapas de introdução no mercado, crescimento, maturidade e declínio. Na segunda, o produto passa por um processo que descreve desde sua fabricação até seu descarte. Neste trabalho, o enfoque será sob o ponto de vista da produção e uso.

A primeira fase do ciclo de vida diz respeito à extração dos materiais que serão convertidos em valor agregado para o produto por meio de uma série de processos de fabricação. Essa atividade é empregada para produzir os recursos consumíveis que serão utilizados durante toda a vida do produto (HUI et al, 2002). A produção é a etapa de

transformação de matérias-primas em peças que passarão por diversas técnicas de processamento. Nesta etapa acontece também a montagem, que pode ser por processamento manual ou automatizado para conectar ou integrar os diversos componentes do produto. Dependendo da complexidade do projeto, pode variar de duas etapas para vários passos. A próxima etapa é a distribuição, responsável em levar grandes volumes do produto do fabricante para clientes locais, que tem na operação de embalagem diversas funções cruciais, tais como informações e proteção do produto, simplificação para o armazenamento, manuseio e transporte. O uso do produto está relacionado principalmente com a quantidade de tempo que o consumidor possui e opera o produto, incluindo o consumo de energia. O fim de vida é o processamento final para a eliminação, incineração, reciclagem ou reutilização, em que se poderá conferir outro fim ao produto descartado (ROSE, 2000; ROSE; STEVELS; ISHII, 2000).

Considerando todo o processo, da extração da matéria prima ao uso e descarte do produto usado, observa-se que incidem custos ambientais, de modo que as emissões e os resíduos gerados trazem danos à sociedade (HAUSCHILD; JESWIET; ALTING, 2005). Em cada uma dessas fases, esforços podem ser concentrados para reduzir as cargas ambientais do produto em cooperação com fornecedores, distribuidores, empresas produtoras e usuários (Figura 01).



Figura 01: Ciclo de vida do produto e custos ambientais.

Fonte: Adaptado de Prado e Kaskantzis Neto (2005).

Os impactos ambientais nas diferentes fases do ciclo de vida de um produto podem ser gerados a partir de:

- Materiais de insumos, como energia e matérias-primas;
- Saídas, como as emissões para a terra, ar e água;
- Produção de resíduos sólidos e tóxicos;
- Problemas com a saúde e segurança ocupacional.

Com esta abordagem, as atuais legislações nos Estados Unidos e em muitos países da Europa não só exigem que os fabricantes devam encontrar formas de reutilizar, reciclar ou recuperar os materiais e componentes, mas também eliminar com segurança os resíduos industriais de uma forma que proteja o meio ambiente e a saúde humana.

Para Cooper e Vigon (2001), o ciclo de vida do produto incorpora o uso de materiais, energia e desperdícios ao longo de quatro estágios conceituais (Figura 02):

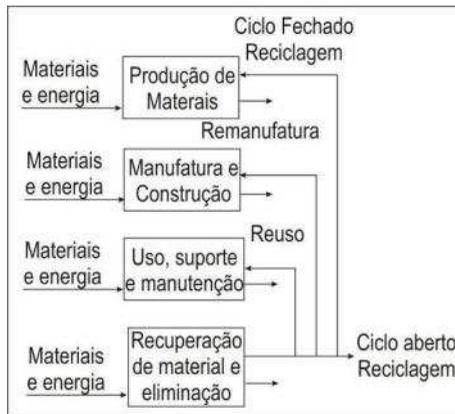


Figura 02: Estágios do Ciclo de Vida

Fonte: Adaptado de Cooper e Vigon (2001).

Na Figura 02, o fluxo de materiais e de energia dentro e entre cada fase do ciclo de vida podem ser recuperados e desperdiçados. A recuperação inclui a reutilização de componentes e materiais, a remanufatura, bem como a reciclagem de componentes e materiais. A reciclagem inclui tanto o circuito fechado, em que os materiais são reutilizados no mesmo ciclo de vida do produto e, circuito aberto, cujos materiais são usados em outros produtos e processos. Cada fase está assim descrita (COOPER e VIGON, 2001):

**Fase 1. Produção de material:** inclui aquisição de material e seu processamento. A aquisição de material inclui atividades relacionadas com a obtenção dos recursos naturais, como a mineração de material não-renovável e a captação de biomassa. A transformação de materiais envolve o processamento dos recursos naturais, reação, separação, purificação, alteração e preparação para a fase de manufatura;

**Fase 2. Manufatura e construção:** envolvem a fabricação de peças e montagem dos produtos;

**Fase 3. Uso, suporte e manutenção:** produtos, sistemas, processos em que sejam utilizadas instalações, manutenção e reparação;

**Fase 4. Desmonte, recuperação e eliminação de material:** fim de vida e escoamento de produtos, sistemas, processos e instalações que inclui a desmontagem, a recuperação de componentes reutilizáveis, materiais e energia, o tratamento e a eliminação de resíduos dos materiais.

De acordo com Hundal (2000), as questões sobre o ciclo de vida do produto relacionadas ao custo de fabricação exigem preocupações e considerações ambientais com a toxicidade dos materiais utilizados durante a fabricação, operação e descarte e, ainda, com a reciclagem, reutilização e remanufaturabilidade do produto, além dos resíduos produzidos durante as várias etapas do fluxo de material, conforme ilustra a Figura 03. A figura também ilustra os termos frequentemente usados em DFE: reutilização, remanufatura e reciclagem.

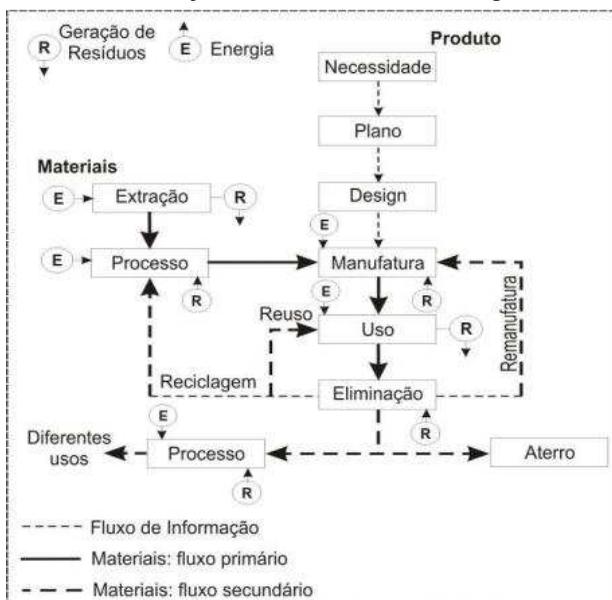


Figura 03 : Ciclo de vida do produto e fluxo de materiais

Fonte: Adaptado de Hundal (2000).

Na Figura 03, a prevenção de resíduos é tratada por meio da redução dos resíduos, toxicidade e uso de energia durante o ciclo do fluxo de materiais, melhorando a vida do produto. As abordagens relacionadas ao fluxo de materiais e energia ajudam a determinar os

fatores que mais impactam no ciclo de vida, importantes para esta pesquisa e para melhorias ambientais, se consideradas durante o desenvolvimento de produtos. No entanto, outras considerações ambientais sobre o ciclo de vida do produto são igualmente importantes e devem ser feitas a fim de considerar o processo de remanufatura em cada fase para atender as questões formuladas no início deste trabalho.

Para auxiliar a tomada de decisão quanto às diferentes alternativas para cada etapa do ciclo de vida do produto, algumas ferramentas podem ser utilizadas. A Matriz de Análise Ambiental do Produto (Tabela 01) e a Matriz de Análise Ambiental do Processo (Tabela 02) apresentadas por Graedel e Allenby (1995), permitem avaliar o produto e seu processo de um ponto de vista ambiental.

<b>Matriz de Análise Ambiental do Produto</b>	<b>Matriz de Análise Ambiental do Produto</b>				
	Seleção de materiais	Consumo de energia	Resíduos sólidos	Emissões de gases	Emissões de líquidos
Extração de recursos					
Produção					
Embalagem distribuição					
Uso					
Reutilização/Reciclagem/ Retirada					

Tabela 01: Matriz de Análise Ambiental do Produto

Fonte: Graedel e Allenby (1995)

A avaliação do produto e do processo é semi-qualitativa e se pontua cruzando os problemas ambientais em relação as etapas do ciclo de vida do produto.

<b>Matriz de Análise Ambiental do Processo</b>	<b>Matriz de Análise Ambiental do Processo</b>				
	Seleção de materiais	Consumo de energia	Resíduos sólidos	Emissões de gases	Emissões de líquidos
Extração de recursos					
Implementação do processo					
Operação do processo					
Outras implicações do processo					
Reutilização/Reciclagem/ Retirada					

Tabela 02: Matriz de Análise Ambiental do Processo

Fonte: Graedel e Allenby (1995)

Os valores estão em uma escala de 0 (impacto elevado, quando a avaliação é muito negativa) a 4 (baixo impacto, quando a avaliação é exemplar) de cada um dos 25 pontos distribuídos na matriz, onde cada célula possui valor 5. O resultado total é o somatório de todos os pontos da matriz, cuja pontuação máxima alcançada é 100.

Nota-se que a matriz que avalia o processo possui uma pequena variação com relação às etapas do ciclo de vida que avalia o produto, pois o processo possui variações que dependem do tipo de produto que se está projetando.

As matrizes de análise ambiental apresentadas por Graedel e Allenby (1995), podem apoiar as decisões sobre a melhor opção do produto, avaliando e relacionando os custos e melhoras ambientais que se podem conseguir a partir da aplicação dessas técnicas e ferramentas.

Para Alting e Legarth (1995), as melhorias ambientais potenciais podem variar entre os tipos de produtos, mas geralmente correspondem a cinco estratégias gerais: (i) melhor manipulação de energia; (ii) economia ou substituições químicas; (iii) economia térmica; (iv) economia de energia, e; (v) redução de despesas gerais. Despesas gerais é o termo comum para encargos ambientais das operações de uma empresa não diretamente relacionadas com a fabricação de produtos, tais como ventilação, climatização de edifícios, etc. Para esses autores, as contribuições para reduzir os efeitos ambientais em qualquer fase do ciclo de vida podem ser divididas entre essas cinco estratégias, que podem ser aplicadas ainda na fase de desenvolvimento do produto.

Ainda Alting e Legarth (1995), observam que a maioria dos parâmetros ambientais do ciclo de vida do produto é fixada pelas escolhas do conceito do produto e sua estrutura. Os autores recomendam que ao invés de concentrar esforços no design do produto e no seu ciclo de vida, se deve trabalhar com o conceito de design do ciclo de vida do produto (DFLC). O Quadro 03 apresenta as estratégias de DFCL segundo esses autores.

<b>FASES DO CICLO DE VIDA</b>	<b>ESTRATÉGIA</b>	<b>RELEVÂNCIA</b>
Extração de matéria-prima	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Uso de materiais reciclados.</li> <li>-Uso de menos materiais e energia.</li> <li>-Seleção de componentes ambientalmente conscientes.</li> <li>-Uso de materiais renováveis.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Esgotamento de recursos, cargas ambientais.</li> <li>-Cargas ambientais.</li> <li>-Desempenho do fornecedor, cargas ambientais.</li> <li>-Esgotamento de recursos.</li> </ul>

Manufatura	-Uso de processo de alto rendimento. -Uso de processo com economia de material. -Redução de custos indiretos	-Cargas ambientais, ambiente de trabalho. -Esgotamento de recursos, cargas ambientais. -Cargas ambientais
Transporte e distribuição	-Uso de material reciclado para embalagem. -Melhora na Logística. -Volume de baixo peso	-Esgotamento de recursos, cargas ambientais. -Cargas ambientais -Cargas ambientais
Uso	-Consumo baixo de energia. -Design para Manutenção/prolongar a vida útil.	-Esgotamento de recursos, cargas ambientais. -Esgotamento de recursos.
Fim de vida	-Design para Desmontagem. -Preservação da qualidade do material.	-Esgotamento de recursos. -Esgotamento de recursos, cargas ambientais.

Quadro 03: Estratégias de Design

Fonte: Adaptado de Altung e Legarth (1995).

As estratégias listadas no Quadro 03 ajudam a projetar um produto ecologicamente mais correto, pois leva em conta todo o ciclo de vida do produto considerando a produção, comercialização, utilização e descarte, analisando as variáveis ambientais a fim de favorecer a redução do consumo dos recursos naturais.

Os produtos em fase de desenvolvimento podem ser especificamente avaliados e projetados para acomodar uma opção de fim de vida que ofereça benefícios econômicos e ambientais, aproveitando, ainda, os investimentos de energia e de materiais da fase inicial de fabricação. A abordagem de fim de vida é fundamental durante a concepção de produtos, visto que permite acomodar melhores soluções e estratégias para reduzir impactos ambientais e opções mais econômicas para as empresas.

Portanto, no ciclo de vida do produto, a fase de concepção é a mais crítica, na medida em que as decisões sobre materiais e processos de fabricação que impactam no produto são feitas. Essas decisões determinam o fluxo total de materiais, afetando tanto o pré-consumo como o pós-consumo. Logo, o estudo do fluxo de material e energia é importante aspecto a ser observado quando do redesign de produtos remanufaturáveis, assim como também as análises de custos ambientais do produto e do processo de remanufatura.

Dos estudos sobre o ciclo de vida do produto se originou uma metodologia que permite avaliar diferentes aspectos ambientais no design de produtos, em que todas as extrações de recursos e emissões

para o ambiente são definidas, quando possível, numa forma quantitativa para determinar ou quantificar aspectos relativos à reciclagem, emissões, extração de matéria prima entre outros. A esse conjunto de técnicas que avaliam as cargas ambientais durante o design de produtos, processos ou atividades é chamado de Avaliação do Ciclo de Vida – ACV, assunto que será discutido no próximo item.

### 2.1.2 Avaliação do Ciclo de Vida do Produto

A *Society for Environmental Toxicology and Chemistry – SETAC* (ARVANITOYANNIS, 2008) define ACV como um processo objetivo que avalia as cargas ambientais associadas a um produto, processo ou atividade por meio da identificação e quantificação do consumo de energia, materiais usados e resíduos liberados para o meio ambiente. Fornece uma valoração quantitativa do impacto ambiental que o ciclo de vida de um produto provoca no meio ambiente, permitindo a proposição de melhorias ambientais. A avaliação inclui o ciclo de vida completo do produto, processo ou atividade, envolvendo: (i) extração e processamento de matéria prima; (ii) produção, transporte e distribuição; (iii) uso, reutilização e manutenção, e; (iv) reciclagem e eliminação de resíduos. Durante as análises das etapas são identificados e quantificados o uso de material e energia, bem como as emissões e despejos feitas no meio ambiente (BOVEA, 2002).

Em conformidade com a norma ISO 14040, a ACV consiste de quatro fases (RODRÍGUEZ, 2003): definição dos objetivos e âmbito de aplicação, avaliação de inventário, avaliação de impacto e interpretação dos resultados, conforme ilustra a Figura 04.

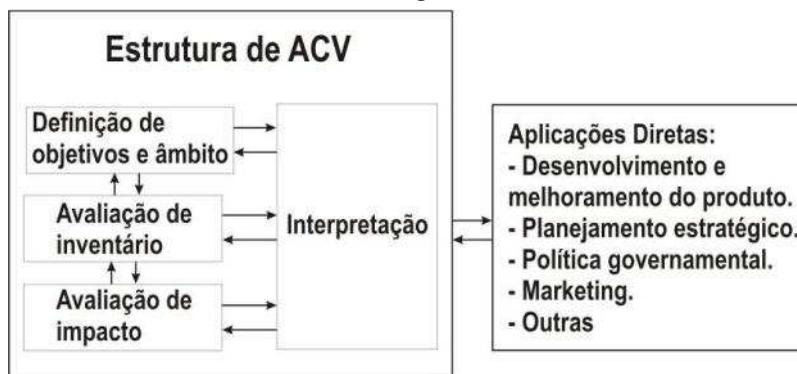


Figura 04 Fases de ACV segundo ISO 14040

Fonte: Ferreira (2004)

As fases ativas ou dinâmicas, em que são recolhidos e analisados os dados, são a segunda e a terceira. A primeira e quarta etapas podem ser consideradas como fases estáticas. A partir dos resultados de uma fase, podem-se reconsiderar os pressupostos da fase anterior e redirecionar para o caminho que oferecer novos conhecimentos. ACV é um processo que se retroalimenta e se enriquece a medida que é realizado (RODRÍGUEZ, 2003).

De acordo com a Figura 04, têm-se (ECO-CONSCIOUS DESIGN OF EEE, 2002; MATA e COSTA, 1998a; 1998b; FERREIRA, 2004; HAUSCHILD; JESWIET; ALTING, 2005).

**Fase 1:** Definição de objetivos e âmbito do escopo - Define e descreve o produto, processo ou atividade. Estabelece o contexto no qual a avaliação será feita e identifica os limites e efeitos ambientais a serem revistos para a avaliação. No objetivo e definição do escopo a ACV é planejada. Um pré-requisito necessário para um bom resultado é definir inicialmente o objetivo exato da ACV sem ambigüidades, como o resultado vai ser usado, para que área geográfica, como deve ser validado e assim por diante. Após isso, o planejamento mais detalhado pode ser realizado.

O planejamento detalhado inclui a definição das funções do sistema de produto e seus limites. Os limites escolhidos devem ser claramente delimitados, caso contrário, a ACV pode ser muito demorada, mas não necessariamente precisa, por causa das incertezas sobre os dados. Se o propósito do ACV é comparar um número de sistemas de produtos, os limites devem ser os mesmos para todos os sistemas de produtos e abranger todos os principais aspectos ambientais. Além disso, a unidade funcional é extremamente importante quando se comparam sistemas de produtos e outras alternativas. Unidade funcional é a medida adotada para comparar sistemas de produtos. Por exemplo, para comparação entre tintas para paredes exteriores, a unidade funcional pode ser: cobertura e proteção de 10 m<sup>2</sup> da superfície de uma parede por cinco anos, especificando a solidez da cor e das condições climáticas e exposição à luz solar. Com base nesta definição, a quantidade de tinta e do número de tratamentos necessários para manter a parede revestida por cinco anos pode ser determinada para comparar as diferentes tintas.

**Fase 2:** Avaliação de inventário - A avaliação de inventário envolve a coleta de dados e o cálculo de entradas e saídas do sistema de produto. Exemplos de entradas e saídas são utilização de recursos,

emissões para a atmosfera e a água, eliminação de resíduos sólidos, descargas de efluentes líquidos.

**Fase 3: Avaliação de Impacto** - Avalia os efeitos humanos e ecológicos da utilização de energia, água, e materiais e das descargas ambientais identificadas na análise de inventário. As entradas e saídas constituem a base da avaliação de impacto. Esta fase tem como objetivo avaliar o custo dos impactos ambientais. Um procedimento típico seria:

- Saídas atribuídas às categorias de impactos (por exemplo, o dióxido de carbono contribui para o aquecimento global);
- Definição de fatores de equivalência para cada impacto (para o aquecimento global: equivalentes dióxidos de carbono são utilizados e todas as contribuições para o aquecimento global estão relacionadas a esta unidade);
- Ponderação final pode ser aplicada, expressando como estão os impactos nocivos uns em relação aos outros.

Esta fase subdivide-se em: (i) Classificação, em que são definidas as categorias de impactos ambientais; (ii) Caracterização, os dados do inventário são agregados de modo a quantificar as categorias de impactos ambientais, e; (iii) Avaliação, as diferentes categorias de impactos são ponderadas e sua importância relativa avaliada.

**Fase 4: Interpretação** – Avalia os resultados da análise de inventário e avaliação de impacto para selecionar o produto, processo ou serviço com uma compreensão clara das incertezas e suposições utilizadas para gerar os resultados. É um procedimento sistemático para identificar, qualificar, verificar, avaliar e conferir confiança a informação contida nos resultados da análise de inventário e/ou avaliação de impactos ambientais.

De acordo com Ferreira (2004), os benefícios potenciais com o uso da ACV seriam: ajudar na tomada de decisão na seleção de produtos ou processos de menor impacto para o meio ambiente; identificar a transferência de impactos ambientais de um meio para outro (eliminação de emissões atmosféricas pode ser feita à custa do aumento das emissões de efluentes líquidos), ou de um estágio de ciclo de vida para outro (da fase de aquisição de matérias-primas para a fase de utilização), e; entre produtos concorrentes, selecionando, por comparação, aquele que consome menos recursos e energia durante a fabricação e a fase de uso.

As limitações ACV apontadas por Ferreira (2004) seriam: necessidade de grandes recursos e tempo, neste caso, os recursos financeiros deverão ser balanceados com os benefícios previsíveis do

estudo, e; não determina qual produto ou processo é o mais caro ou funciona melhor. Por isso, a informação desenvolvida num estudo ACV deve ser utilizada como uma componente de um processo de decisão, que conta com outras componentes como custo e desempenho do produto

Por meio dos estudos da ACV é possível (FERREIRA, 2004):

- Desenvolver uma avaliação sistemática das consequências ambientais associadas com um dado produto;
- Analisar os balanços (ganhos/perdas) ambientais associados com um ou mais produtos/processos específicos de modo que o estado ou a comunidade aceitem uma ação planejada;
- Quantificar as descargas ambientais para o ar, água e solo relativamente a cada estágio do ciclo de vida e/ou processos que mais contribuem;
- Assistir na identificação de significantes trocas de impactos ambientais entre estágios de ciclo de vida e o meio ambiental;
- Avaliar os efeitos humanos e ecológicos do consumo de materiais e descargas ambientais para a comunidade local, região e o mundo;
- Comparar os impactos ecológicos e na saúde humana entre dois ou mais produtos/processos rivais ou identificar os impactos de um produto ou processo específico;
- Identificar impactos em uma ou mais áreas ambientais específicas de interesse.

A ACV geralmente necessita de grande esforço para realizar, pois é complexa e demorada, entretanto, apresenta-se como o método mais preciso para a verificação de novos conceitos de produtos e para materiais cujos impactos ambientais não são bem conhecidos. Ademais, é uma estrutura sistemática para identificar e selecionar, entre as possibilidades de projeto apresentadas, a melhor perspectiva do ciclo de vida do produto, processo ou atividade, além de auxiliar nas decisões quanto ao melhor tratamento de fim de vida.

### **2.1.3 Estratégias de fim de vida do produto**

Durante o desenvolvimento de produtos, questões sobre seu fim de vida devem ser discutidas para se definir uma estratégia que seja tecnicamente e economicamente viável para a empresa. A legislação ambiental influencia fortemente essa decisão. Na União Européia, por exemplo, metas são estabelecidas para a coleta e reciclagem de vários

produtos de consumo, a devolução é exigida para reduzir o uso dos recursos naturais, os níveis de aterros, de incinerações e emissões de substâncias perigosas. Por isso, as empresas necessitam construir uma estratégia para o tratamento de fim de vida que possa ao mesmo tempo estar de acordo com a legislação, alcançar uma cota de mercado e manter uma vantagem competitiva (ROSE, 2000).

O primeiro passo, no entanto, para fazer um planejamento adequado de fim de vida é ter alguma idéia do destino provável de um componente, e mesmo de todo o produto, contudo, poucas empresas têm uma estratégia definida que alimenta esse tipo de informação para a especificação do produto (DOWIE e SIMON, 1994).

Ademais, antes de delinear quaisquer ações, devem-se avaliar as atuais normas e as características do produto e, com base nessas informações, identificar qual estratégia é a mais ideal. Os caminhos possíveis de estratégias de fim de vida são: Reuso, Serviço, Reciclagem, Remanufatura e Descarte Final. A Figura 05 apresenta as estratégias de fim de vida e suas interações ao longo do ciclo de vida do produto.

Conforme apresenta a Figura 05, têm-se (U.S. Congress, 1992: SUNDIN, 2002: SHU e FLOWERS, 1999: ROSE, STEVELS, ISHII, 2000: IJOMAH et al, 2007: SUNDIN e LINDAHL, 2008: SUNDIN, LINDAHL, IJOMAH, 2009):

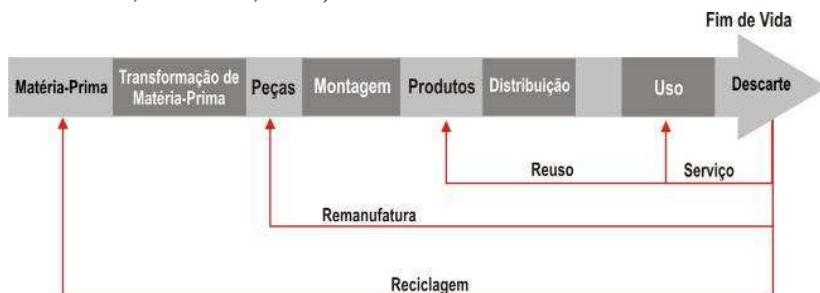


Figura 05: Estratégias de fim de vida.

Fonte: Adaptado de Shu e Flowers (1995).

*Reuso* - Esta estratégia busca diminuir a carga sobre o meio ambiente pela negociação do produto ou peça de segunda mão para uso com o mesmo fim com que foi concebido originalmente. Exemplo: embalagens retornáveis;

*Serviço* (abordagem produto-serviço) – A vida útil do produto é estendida por meio da manutenção e/ou reparação de peças no local onde o produto é usado. Centra-se no serviço como opção para a

empresa manter a posse sobre o produto ao invés de vender a sua capacidade para o cliente. O enfoque está na função e não no produto, isto significa que o fornecedor poderá colocar mais ênfase na otimização do custo total sobre o ciclo de vida. No entanto, as receitas de peças de manutenção se transformam em custos para o prestador, mas ao mesmo tempo é um grande potencial para reduzir gastos de tratamento de fim de vida, bem como reduzir custos para o usuário.

*Reciclagem* - Esta estratégia retorna o material do produto para fase de transformação de matéria-prima. Descreve a série de atividades pelas quais materiais descartados são coletados, classificados, processados e utilizados para produzir novos produtos. Pode ser de duas formas: com separação de material, por meio da desmontagem manual do produto com a recuperação do material útil que será processado para aplicação em outros produtos, e; sem separação de material, o material é triturado para reduzir seu tamanho e, posteriormente, separado por processos magnéticos, por densidade ou por sua propriedade. Geralmente o material reprocessado tem sua qualidade original perdida;

*Remanufatura* - Esta estratégia devolve o produto usado a um novo ciclo de uso por meio da remodelação de peças reutilizáveis, introduzindo novos componentes quando necessário. Como forma de prevenção de resíduos promove, ao mesmo tempo, a reutilização de materiais e a extensão de vida útil de produtos e componentes, reforçando simultaneamente as estratégias de prevenção de resíduos e de gestão de materiais;

*Descarte* - Esta estratégia destina-se ao aterro ou incineração, com ou sem recuperação de energia.

Nota-se, no entanto, que somente as estratégias que se concentram em serviço, reuso e remanufatura buscam prolongar a vida útil do produto. Essas estratégias conservam as formas geométricas do produto para reutilizá-las, sempre que possível, com a mesma finalidade com que foram criadas no início do seu ciclo de vida, isto significa que toda a energia e emissões que foram produzidos durante a fabricação e no processamento de seus materiais poderão ser recuperadas (NAVIN-CHANDRA, 1993).

É importante ressaltar que nesta pesquisa concorda-se com Rose (2000) quando considera o conceito de fim de vida como o momento em que o produto já não satisfaz o comprador inicial ou o primeiro usuário, mas que por seu estado físico favorável é possível reaproveitá-lo. Se considerarmos o produto em fim de vida como aquele que não

desempenha mais suas funções por decomposição ou desgaste, significa que o mesmo terá como opção de fim de vida o descarte ou a reciclagem, cujo material passa pelo processo de transformação com emissões e consumo de energia, como visto anteriormente. A reciclagem faz o reprocessamento dos materiais utilizados na fabricação do produto, o que implica em mais emissões e gastos de energia e, conseqüente redução do valor agregado (SUNDIN; LINDAHL; IJOMAH, 2009). Neste trabalho, o que se deseja é utilizar estratégias de fim de vida com menores custos ambientais.

A remanufatura, por exemplo, se comparada à reciclagem, reduz a quantidade de resíduos nos aterros, do consumo de energia e de matérias-primas empregadas durante a fabricação pela reutilização de peças e componentes do produto. O objetivo do produto para a remanufatura é preservar ao mesmo tempo o valor agregado das fases de concepção e de processo de fabricação (ZWOLINSKI e BRISSAUD, 2008). E, por esse motivo, a decisão de usar esta estratégia deve ser tomada ainda na fase de planejamento do projeto, cujas características para a definição do produto são escolhidas.

Entretanto, tradicionalmente os fabricantes não fazem, durante o ciclo de vida do produto, um planejamento em longo prazo do custo-benefício que a reutilização ou a remanufatura exige (MANGUN e THURSTON, 2002).

De acordo com Hacco e Shu (2002), se durante o desenvolvimento do produto o objetivo de reutilização de peças for mantido, as estratégias ambientais de final de vida conseqüentemente poderão ser atendidas. Assim, componentes que são projetados para manter as suas propriedades de conformidade após o uso, podem ser desmontados para a reutilização sem comprometer a durabilidade ou confiabilidade do produto.

Dada a importância deste aspecto para a realização da remanufatura, o design para desmontagem será especificamente tratado no próximo item.

## 2.2 DESIGN PARA DESMONTAGEM

Desmontagem é o processo de remoção sistemática das partes constituintes desejáveis da montagem de um produto para permitir sua manutenção, aumentar o serviço ou para reutilizar, reciclar e recuperar peças, energia e materiais (VEERAKAMOLMAL e GUPTA, 2002).

Design para Desmontagem é uma abordagem que integra todas as fases do ciclo de vida (desenvolvimento, produção, distribuição, uso e descarte ou reaproveitamento) em uma etapa muito inicial do projeto do produto conceitual, as quais se consideram desde as questões de estrutura do produto até o material escolhido, a fim de minimizar resíduos no processo de fabricação e posterior reaproveitamento de peças (PAN e ZAID, 2001). O Design para desmontagem ou Design for Disassembly – DFD considera, ainda no início da fase de concepção, que o produto será desmontado para que peças e componentes sejam facilmente reutilizados, remanufaturados ou reciclados no seu fim de vida.

Entretanto, muitos produtos são concebidos para eliminação ao final de sua vida útil, de modo que não podem ser desmontados sem destruir peças fundamentais (IJOMAH, 2009).

Segundo Zeid; Gupta; Bardasz (1997) podem-se identificar dois aspectos distintos na temática desmontagem: Design para Desmontagem - DFD e Planejamento para a Desmontagem - PFD. O objetivo do DFD é projetar produtos que sejam fáceis de desmontar. Por outro lado, o objetivo do PFD é identificar seqüências eficientes para desmontar produtos. O problema do PFD é encontrar a partir da estrutura do produto, da meta de desmontagem e de um conjunto de restrições, um plano para desmontar o produto com sucesso. Mesmo que um produto tenha sido concebido com conhecimentos de DFD, de acordo com Pan e Zaid (2001), ele ainda assim vai necessitar de um plano de desmontagem.

Isto porque uma questão crítica para o reaproveitamento de produtos é a separação de peças. As escolhas dos métodos de fixação que facilitam a montagem podem impedir a desmontagem dificultando a reutilização das peças, conforme estudado por Shu e Flowers (1995).

Um dos objetivos da desmontagem é realizar a quantidade ideal de desmontagem, a fim de que a receita obtida com o reaproveitamento das peças seja maior que o custo da realização das operações. Muitas vezes os custos excedem as receitas por causa do baixo valor dos materiais, ou quando a desmontagem é muito ruim ou difícil. No entanto, muitos produtos têm peças particularmente valiosas como, por exemplo, transformadores ou motores elétricos, estes tipos de peças oferecem um grande incentivo para desmontar e reciclar um produto ao final de sua vida útil (DOWIE e SIMON, 1994).

A partir da perspectiva dos fabricantes ou recuperadores, o processo de desmontagem pode ser distinguido em duas categorias: (i) desmontagem destrutiva ou abordagem de força bruta, por exemplo, incineração e corte de metal, e; (ii) desmontagem não destrutiva ou montagem inversa (DESAI e MITAL, 2003; DONG et al, 2005). Para o reuso a desmontagem não destrutiva é essencial, enquanto que para a reciclagem ela é permitida, visto que alguns produtos recicláveis utilizam o método de trituração para o reaproveitamento do material. Ainda de acordo com Desai e Mital (2003) a desmontagem não destrutiva pode ser de duas formas:

Desmontagem total - todo o produto é desmontado em seus componentes constituintes. Esta às vezes não é economicamente viável devido à imposição de restrições externas, tais como tempo, fatores econômicos, presença de materiais perigosos, etc.

Desmontagem seletiva – trata-se da desmontagem de produtos complexos em subconjuntos menos complexos ou peças únicas. Envolve a remoção sistemática das peças constituintes desejáveis de um conjunto, assegurando que não existe comprometimento das mesmas.

Hundal (2000) argumenta que embora muitas pesquisas tenham sido realizadas para automatizar o processo de desmontagem para torná-lo mais produtivo, este ainda é feito geralmente de forma manual, pois é diretamente influenciado pela seleção do tipo de fixadores e do contexto de reaproveitamento do produto, peças e materiais.

Neste contexto, Beitz (1993 apud HAUSCHILD; JESWIET; ALTING, 2005) identificou as áreas relacionadas com design para a reciclagem que também podem ser consideradas para apoiar o DFD:

- Design para a facilidade de limpeza, para garantir que o processo de limpeza utilizado não causará danos ao meio ambiente (e ao homem);
- Design para a facilidade de testes e de classificação, para tornar mais clara quanto à condição de peças que podem ser reutilizadas e permitir a fácil classificação por meio de marcações adequadas;
- Design para a facilidade de recondicionamento, apoiando o reprocessamento de peças e o fornecimento adicional de material;
- Design para a facilidade de montagem, para proporcionar facilidade de montagem de peças novas e recondicionadas.

Hauschild; Jeswiet; Alting (2005) recomendam usar esses métodos combinados como forma de garantir que o produto poderá ser reaproveitado, em que a desmontagem desempenha um papel importante, não só para permitir que as peças e materiais sejam removidos para reaproveitamento, mas também permite o acondicionamento, renovação, remanufatura e reparação que estende o serviço do produto e a vida útil de seus componentes.

Os autores esclarecem ainda que uma das ferramentas mais úteis para DFD é a Espinha de Peixe, Causa e Efeito ou ainda Diagrama de Ishikawa. Em DFM este diagrama é usado para ilustrar graficamente a seqüência em que um produto está montado. Pode ser utilizada como ferramenta útil para seqüenciar o processo de desmontagem e explorar todas as entradas que resultam em uma única saída.

No diagrama, as entradas são organizadas de acordo com seu grau de importância ou de detalhes, resultando em ilustração gráfica dos eventos. Isso ajuda a identificar as áreas onde pode haver problemas e comparar a importância relativa dos diferentes fatores. Para a fabricação, as entradas são freqüentemente organizadas em quatro categorias principais: recursos humanos, métodos, materiais e máquinas e, para a gestão destes são: equipamentos, políticas, procedimentos e pessoas (HAUSCHILD; JESWIET; ALTING, 2005).

Para esses autores, grande parte do procedimento usado para montar um diagrama de espinha de peixe pode ser encontrada em outros procedimentos, incluindo a montagem de um Perfil Eco-funcional, que é uma ferramenta que se divide em duas áreas de análise, perfil funcional e perfil ambiental do produto, estas duas áreas são combinadas para formar uma matriz (BHAMRA e HON, 2005). O perfil funcional determina o que o consumidor quer do produto e a importância desses requisitos, enquanto que o perfil ambiental avalia o impacto ambiental do produto sobre o meio ambiente. Mais detalhes sobre esta ferramenta podem ser encontrados em Bhamra e Hon (2005).

Dowie e Simon (1994) apresentam uma lista de orientações para a desmontagem e a reciclagem de produtos, classificada em três áreas do design: materiais, fixadores e juntas, e estrutura do produto. Conforme mostra o Quadro 04.

<b>ORIENTAÇÕES</b>	<b>MOTIVO</b>
<b>MATERIAIS</b>	
1. Minimizar uso de diferentes tipos de material.	Simplificar o processo de reaproveitamento
2. Faça subconjuntos e peças conectadas	Reduzir a necessidade de desmontagem

não separáveis do mesmo material ou de outro compatível.	e de triagem
3. Marque todas as peças de plástico e similar para facilitar a identificação.	Muito do valor dos materiais é aumentado em função da correta classificação e identificação.
4. Usar materiais que podem ser reciclados.	Minimizar o desperdício e aumentar o valor de fim de vida do produto.
5. Usar materiais reciclados.	Estimular o mercado de produtos reciclados.
6. Garantir a compatibilidade de tinta quando a impressão é exigida em peças plásticas.	Manter o valor máximo de material recuperado.
7. Eliminar etiquetas incompatíveis em peças de plásticos.	Evitar a remoção de etiquetas caras e processos de triagem.
8. Componentes perigosos devem ser facilmente identificados e removidos.	Eliminar rapidamente peças de valor negativo.
<b>FIXADORES E JUNÇÕES</b>	
9. Minimizar o número de elementos de fixação.	Reduzir remoção de fixadores e o tempo de desmontagem.
10. Minimizar o número de remoção de fixadores e a necessidade de ferramentas.	Mudança de ferramentas custa tempo.
11. Fixadores devem ser fáceis de remover.	Economizar tempo na desmontagem.
12. Pontos de fixação devem ser de fácil acesso.	Movimentos incômodos aumentam o tempo na desmontagem manual.
13. Fechos ajustáveis devem ter clara localização e fáceis de desmontar com ferramentas padrão.	Ferramentas especiais podem não ser identificadas ou estar disponíveis.
14. Utilizar fixadores de material compatível com as peças conectadas.	Facilita as operações de desmontagem.
15. Se duas peças não são compatíveis, torná-las facilmente separáveis.	
16. Eliminar adesivos, exceto aqueles compatíveis com ambas as peças unidas.	Muitos adesivos causam contaminação ao material.
17. Minimizar o número e o comprimento de fios e cabos de interconexão utilizados.	Elementos flexíveis são lentos para remover e o cobre contamina o aço e outros metais.
18. As junções podem ser projetadas para ruptura como alternativa à remoção dos fixadores.	Fratura é uma operação rápida de desmontagem.
<b>ESTRUTURA DO PRODUTO</b>	
19. Minimizar o número de peças.	Reduzir desmontagem.
20. Fazer design o mais modular possível, com separação de funções.	Permite a opção de serviço, atualizações ou a reciclagem.
21. Localizar peças não recicláveis em	Reduzir tempo de desmontagem.

uma área que pode ser rapidamente removida ou descartada.	
22. Localizar peças de maior valor em locais de fácil acesso.	Permite a desmontagem parcial e retorno ótimo.
23. Design de peças com estabilidade para facilitar a desmontagem.	Desmontagem manual é mais rápida com uma sólida base de trabalho.
24. Evitar molduras em metal ou o uso de reforço em peças plásticas.	Criar a necessidade de trituração e separação.
25. Acessos e pontos de rupturas devem ser de fácil visualização.	Estrutura lógica e velocidade de desmontagem e treinamento.

Quadro 04: Orientações para a desmontagem e a reciclagem de produtos

Fonte: Adaptado de Dowie e Simon (1994)

Além das orientações descritas no Quadro 04, outros fatores condicionam o Design para a Desmontagem. Tais fatores podem ser resumidos nos seguintes parâmetros: (i) a estrutura do produto; (ii) o tipo e número de juntas; (iii) características da peça a ser desmontada; (iv) destino final das peças; (v) acesso e visibilidade do elemento de união (fixadores); (vi) além das condições em que se realiza a desmontagem (DESAI e MITAL, 2003).

O National Research Council Canada (2009) propõe o seguinte check-list para avaliar a desmontabilidade de produtos:

- Quais são os métodos de união entre as peças e componentes? Por inserção do molde, por fixadores, aderência, união mecânica ou montagem por fricção;
- Quais são as operações adicionais necessários para a desmontagem? Por ruptura, perfuração, descolagem, calor ou lubrificação;
- Quais são as ferramentas necessárias para a desmontagem? Por ferramenta especial, ferramenta simples ou feita a mão;
- Qual é o movimento necessário da ferramenta para a desmontagem? Complexo, por giro ou linear;
- Qual é o nível de dificuldade para a desmontagem? Com apoio técnico necessário, precisa de ajuda, requer deformação, resolução necessária, pesado, pequeno, difícil, difícil acesso, difícil de entender, difícil de ver;
- Quais são os perigos durante a desmontagem? Químico, elétrico, cantos vivos;
- Onde estão as instruções para a desmontagem? São fornecidas integralmente ou são fornecidos em parte.

Algumas dessas questões estão determinadas pelo processo de desmontagem que se irá realizar, outras dizem respeito ao tipo de produto, mas, independente disso, o processo de desmontagem deve ser definido durante a fase inicial de projeto.

O DFD deverá reduzir e simplificar o número e a complexidade dos passos de desmontagem, permitindo de preferência a utilização de técnicas de produção em massa, como o uso do processo de automação sugerido por Hundal (2000), que beneficia tanto as operações originais de montagem como as de remontagem.

Portanto, a desmontagem é um componente importante do processo de remanufatura, considerado um trabalho intenso e caro, com necessidades de desenvolver sistemas que possam eliminar os inconvenientes da desmontagem manual, por causa do longo tempo de conclusão e pela exposição humana aos possíveis produtos perigosos (GRAY e CHARTER, 2007).

Além disso, a atividade de desmontagem em remanufatura pode ser considerada um caso especial, que deve garantir a integridade das peças durante a atividade de separação e ainda preservar suas qualidades para reuso.

Conclui-se que a desmontagem é uma questão forte que impacta sobre vários aspectos da remanufatura, e que o DFD é um dos passos fundamentais para permitir a reutilização e a redução dos custos ambientais e de produção. Assim, os esforços necessários para completar a remanufatura são consideravelmente superiores aos exigidos para realizar outras estratégias de fim de vida.

Considerando a problemática principal abordada por esta pesquisa, que diz respeito à falta de métodos de apoio ao design de produtos para remanufatura, ou seja, a integração entre ‘o que’ se quer e o ‘como’ fazer, no próximo item o processo de desenvolvimento de produtos é discutido, procurando identificar e relacionar os procedimentos e atividades de desenvolvimento mais significativas, a fim de estabelecer uma sistemática de redesign para adequação de produtos à remanufatura.

### 2.3 O PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

Desenvolver um produto significa conceber uma idéia que satisfaça uma necessidade desejada e um objetivo definido ou, na definição de Hubka e Eder (1996), transformar uma informação a partir

de necessidades, requisitos e restrições na descrição de uma estrutura que seja capaz de satisfazer uma demanda.

Geralmente um processo de design é estruturado segundo uma seqüência de fases ou etapas, em que se definem as atividades principais que se devem realizar em cada fase de desenvolvimento do produto, buscando assegurar que o problema seja identificado, compreendido e que a solução seja acertada. Segundo Real (2007) as atividades de análise, síntese e avaliação se incluem de forma evidente em cada uma dessas fases.

O processo de design é, portanto, uma das diferentes atividades do processo de desenvolvimento de um produto, em que se incluem outras atividades que também são necessárias para se criar um novo conceito, que vai desde que se detecta uma necessidade ou idéia até o momento em que o produto está pronto para o mercado (REAL, 2007). Quanto mais sistematizado for esse processo, mais a empresa pode obter vantagens em termos de redução de custos, aumento da qualidade e menor tempo de desenvolvimento.

No entanto, o resultado do design não tem que satisfazer somente as necessidades dos clientes, mas também aquelas que surgem nas diferentes fases do ciclo de vida como, por exemplo, o que fazer com o produto quando atingir o fim de uso e for descartado. Nesse caso o processo de design deve ser iniciado pensando qual será a estratégia de fim de vida mais adequada para o produto, e as atividades realizadas para esta tarefa devem ser orientadas segundo um conjunto de procedimentos sistemáticos para obter um produto final e assim alcançar melhores resultados.

Assim sendo, é de interesse das empresas modelos que ajudem a conceber produtos com uma visão ampla do processo de desenvolvimento, que envolva desde o planejamento estratégico até a retirada do produto do mercado.

Uma proposta de modelo de referência para o desenvolvimento de produtos que integra as fases de planejamento, desenvolvimento e acompanhamento do produto após lançamento no mercado é apresentada por Rozenfeld et al (2006), que concebe o Processo de Desenvolvimento de Produtos - PDP sob um ponto de vista de processo de negócio. Uma das vantagens competitivas oferecidas por esta visão do PDP é o aumento da capacidade da empresa para projetar e produzir uma maior variedade de produtos. A Figura 06 apresenta o modelo do PDP proposto por Rozenfeld et al (2006).

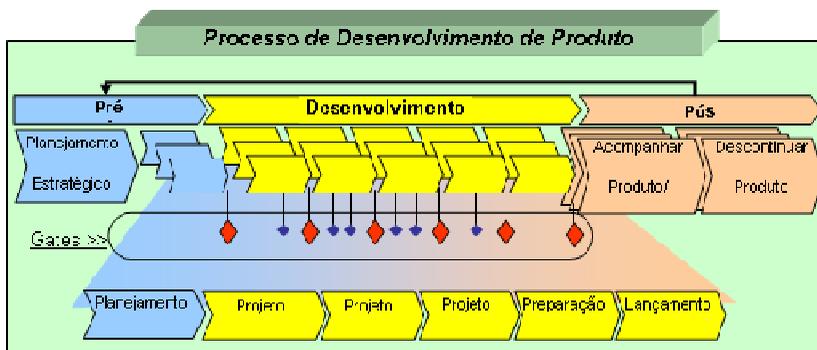


Figura 06 : Modelo do Processo de Desenvolvimento de produtos

Fonte: Rozenfeld et al (2006)

O modelo está estruturado em macrofases de pré-desenvolvimento, desenvolvimento e pós-desenvolvimento. A primeira macrofase faz o planejamento sobre o desenvolvimento do produto, mapeando as oportunidades e restrições que decidirão sobre o futuro do produto. Uma vez decidido desenvolver o produto, a partir do plano de projeto, inicia-se a macrofase de desenvolvimento que envolve desde as especificações sobre o futuro produto, levantadas durante o projeto informacional, até o seu lançamento no mercado.

Como mostra a Figura 06, as fases de desenvolvimento são: (i) projeto informacional, conjunto de especificações para orientar a geração de soluções do produto, gerar critérios de avaliação e de tomadas de decisão para as fases subsequentes do desenvolvimento; (ii) projeto conceitual, relaciona-se com a busca, criação e seleção de soluções para o problema de projeto; (iii) projeto detalhado, desenvolve e finaliza todas as especificações do produto para serem encaminhadas para fabricação; (iv) preparação da produção, trata da produção do lote piloto, a definição dos processos de produção e manutenção, e; (v) lançamento do produto, envolve todas as atividades relacionadas a colocação do produto no mercado como o processo de venda, a distribuição, o atendimento ao cliente, a assistência técnica e o marketing.

A macrofase de pós-desenvolvimento faz o acompanhamento sistemático e de gestão do ciclo de vida do produto para garantir o desempenho do produto na produção e no mercado, a fim de identificar necessidades e oportunidades de melhorias. Inclui, ainda, a gestão de meio ambiente e estratégias de fim de vida (Figura 07).

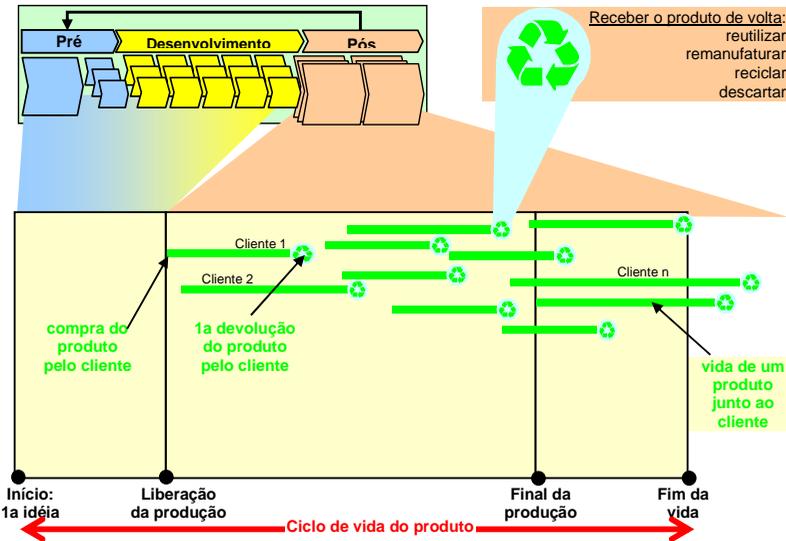


Figura 07 : Macrofase de Pós-desenvolvimento

Fonte: Rozenfeld et al (2006).

Contém duas fases: (i) acompanhar produto e processo, que diz respeito à gestão das atividades para a solução de problemas relacionados ao produto, e; (ii) Descontinuar o produto, em que se põe em ação o plano de fim de vida do produto. Nesta fase acontece a primeira devolução do produto pelo cliente, momento que a empresa pode receber o produto de volta para reutilizar, reciclar, descartar ou Remanufaturar.

O modelo apresentado por Rozenfeld et al (2006) prevê a devolução do produto incluindo a remanufatura como opção de fim de vida, oferecendo meios para as empresas visualizarem dentro de todo o processo de desenvolvimento do produto o momento para criar oportunidades de negócio e adicionar valor ao produto original, realizando, ao mesmo tempo, a gestão de resíduos e de materiais.

Embora o modelo de Rozenfeld et al (2006) inclua a remanufatura em seu escopo, assim como outras estratégias de fim de vida, o mesmo não apresenta meios de como as atividades ligadas a remanufatura seriam realizadas ou inseridas dentro da fase de pós-desenvolvimento do PDP, o que oferece oportunidades para a contribuição com pesquisas neste sentido, como, por exemplo, a integração de um modelo do processo de redesign para remanufatura, foco deste trabalho.

Existem outros modelos que estruturam o processo de desenvolvimentos de produtos como, por exemplo, a metodologia do Design Axiomático (SUH, 1998) que propõe axiomas ou leis para sistematizar ações e procedimentos para facilitar a tomada de decisão durante o processo de design. A metodologia de ASIMOW de 1962 (REAL, 2007) que nas primeiras fases da metodologia dá ênfase ao processo de design do produto e, nas fases subseqüentes, trata da produção, distribuição, consumo e retirada do produto do mercado. A metodologia de Pahl e Beitz (1996) que estrutura o processo de design em fases, proporcionando uma idéia geral das informações que são pertinentes a cada uma delas, e que possui as seguintes fases principais: (i) Planejamento e definição da tarefa, que trata da especificação de informações; (ii) Design conceitual, que é a especificação do princípio de solução (conceito); (iii) Design preliminar, é a especificação de layout, e; (iv) Design detalhado, que trata da especificação de produção. Cada etapa do processo tem uma saída e uma entrada, resultante da retroalimentação entre elas, o que permite um avanço até a conclusão do processo para a obtenção do produto final.

Encontrou-se também a Metodologia utilizada pela Sociedade Alemã de Engenharia a VDI 2221 (PAHL e BEITZ, 1996), que divide o processo de design em fases e etapas com entradas e saídas de informações, similar a metodologia apresentada por Pahl e Beitz.

Todas essas metodologias são válidas e possibilitam a realização física de uma solução para o produto. No entanto, utiliza-se como parâmetro para esta pesquisa a estrutura do PDP de Rozenfeld et al (2006) por oferecer uma visão ampla das atividades relacionadas ao processo de desenvolvimento de produtos, e também por sua atualidade em relação as outras metodologias citadas. O modelo de Rozenfeld et al (2006) fornece, ainda, uma oportunidade para visualizar e inserir a remanufatura no gerenciamento do processo de desenvolvimento de produtos.

Diante do que foi discutido, é possível encontrar uma estrutura semelhante para os procedimentos sistemáticos para o processo de redesign de produtos, conforme se definiu na introdução deste documento. Esta sistemática deverá conter uma seqüência de atividades para o cumprimento do processo, estabelecendo uma orientação básica para o que deve ser feito durante o processo de redesign.

No próximo item se discute, portanto, o processo de redesign de produtos ou processo de reprojeto de produto, buscando relacioná-lo com a remanufatura a fim de estabelecer orientações para constituir

procedimentos sistemáticos para o redesign de produtos remanufaturáveis.

### 2.3.1 O processo de redesign

O processo de redesign de um produto consiste na criação de melhorias de um sistema físico para atender às necessidades do cliente, cujas mudanças no projeto original devem satisfazer e preservar os requisitos funcionais e gerar alternativas que melhor atendam as necessidades apresentadas (HASHIM, JUSTER & PENNINGTON, 1993).

Nesse contexto, depois de identificar as necessidades para redesenhar um produto, o primeiro passo antes de iniciar o redesign seria resgatar e analisar as informações existentes relacionadas ao design original do produto, concluindo-se portanto, que o redesign é iniciado a partir do conhecimento do projeto do produto original. No caso do redesign para a remanufatura, deve-se também realizar uma avaliação da capacidade do produto para ser remanufaturado, conforme orientação dada por Zwolinski e Brissaud (2006). Assim, o redesign de um produto torna-se necessário quando ele precisa ser melhorado por questões de atualização para se adequar a novas necessidades do mercado ou para prolongar o seu ciclo de vida (DUFOUR, 1996).

Uma vez que o produto já foi lançado no mercado essas mudanças devem ser conduzidas de forma planejada e sistematizada, orientando as atividades de redesign para manter o princípio de solução do produto, mas adaptando-o para realizar funções que inicialmente não foram projetadas. O objetivo do redesign de um produto é, portanto, introduzir mudanças no design original, preservando os requisitos funcionais e tentando encontrar melhores alternativas que satisfaçam as necessidades das mudanças identificadas. Neste trabalho, essas mudanças são determinadas pelas características do produto e do processo de remanufatura.

Dufour (1996) ao realizar estudos para a avaliação e ordenação das diferentes ferramentas utilizadas no processo de desenvolvimento de produtos para formalizar as atividades de redesign, propõe o seguinte processo definido em cinco fases:

***Fase 1. Elaboração da nova lista de requisitos*** – Esta é a primeira fase do processo, em que uma nova lista de requisitos e das especificações de redesign é estabelecida. Esta fase pode ser realizada com o auxílio de três recursos: lista de perguntas sobre o produto, análise do ambiente do produto e a análise das fases do ciclo de vida do

produto. A lista de requisitos é uma maneira de formalizar as exigências, desejos e anseios dos clientes, mas também é utilizada para informar as limitações de projeto, tanto de conhecimento técnico da equipe de desenvolvimento como da disponibilidade de materiais, de legislação, etc. Este conjunto de informações será utilizado como base para a formulação dos novos requisitos. As especificações de projeto poderão ser obtidas a partir do QFD. Para cada um dos requisitos valores objetivos deverão ser estipulados, que devem ser alcançados pelo produto em desenvolvimento.

**Fase 2. Abstração da estrutura funcional** - Nesta fase se estabelece uma nova estrutura funcional para o produto. O problema é formulado da maneira mais abstrata possível, na linguagem de funções (verbo + substantivo) sem a determinação de quaisquer soluções. Este procedimento é realizado para definir a função global e as restrições que o produto terá que satisfazer. Uma vez definido o princípio de funcionamento, estabelecidas as grandezas funcionais e as entradas e saídas de cada função da estrutura, é determinada a função global do sistema. A partir deste momento podem-se desenvolver as denominadas estruturas funcionais de solução ou funções parciais simples, para posteriormente se buscar a melhor alternativa para o projeto.

**Fase 3. Redesign conceitual** – Esta é a fase em que se procuram soluções para as funções parciais. É recomendado fazer uso dos métodos que são mais apropriados para a geração de soluções e adaptações encontrados na literatura, tais como: Listagem de atributos; Instigação de questões; Matriz morfológica; Análise do Valor. Após se obter alternativas de soluções para as variantes de estrutura funcional, é recomendável verificar se estas cumprem as especificações de projeto do produto estabelecidas anteriormente.

**Fase 4. Redesign preliminar** – Nesta fase inicia-se o projeto preliminar que tem por objetivo estabelecer qual das alternativas propostas apresenta a melhor concepção de re-design que, mediante um estudo de ordem de grandeza, se determinam as que apresentam vantagens em relação às outras. Uma vez selecionada a melhor alternativa de solução, recomenda-se submetê-la a estudos mais detalhados, comparando-a sempre com o produto original. É importante fazer uso dos desenhos, peças, dados de testes de uso e fabricação, e de toda a informação que o produto original possa oferecer, para determinar as tolerâncias e características dos componentes principais e materiais críticos que o produto deverá ter.

**Fase 5. Redesign detalhado** – Nesta etapa são fornecidas as descrições de engenharia que se especificam os componentes, as capacidades, as dimensões, os desgastes, detalham peças e se estabelecem as tolerâncias. Também se definem a forma definitiva, dimensões, materiais, acabamentos, processos de fabricação, montagem e transporte, este é o momento em que os problemas do projeto são enfatizados. Nesta fase são utilizadas ferramentas como DFM, DFA, DFE e FMEA para verificação e análise do desempenho do produto para melhor atender às necessidades estabelecidas. Ao final desta fase são elaborados os documentos de produção para envio aos diversos setores envolvidos com a elaboração, embalagem e transporte do produto. Também nesta fase é construído o protótipo e a realização de testes.

Nota-se, pela descrição feita do processo de redesign proposto por Dufour (1996) que a estrutura do mesmo é análoga ao processo de desenvolvimento de produtos apresentado por outros autores, como por exemplo, Pahl e Beitz (1996), Rozenfeld et al (2006), ASIMOW de 1962, ou seja, se compõe de fases ou etapas do processo, tarefas e atividades, a diferença está na sistematização de ações e procedimentos para auxiliar a tomada de decisão.

Uma vez considerada para este estudo a estrutura do processo de redesign composta em fases, a seguir procura-se relacionar o processo de redesign com as ferramentas para remanufatura já estudadas, a fim de constituir parâmetros para a construção dos procedimentos a serem realizados durante o redesign de produtos para a remanufatura.

**Fase 1. Requisitos de redesign para remanufatura** – como visto, esta fase corresponde às informações sobre os requisitos de redesign que o produto deverá cumprir e tem por objetivo realizar um levantamento para definir as necessidades dos clientes. Para traduzir os requisitos do cliente em requisitos de projeto, Dufour (1996) recomenda o uso do QFD com o desdobramento da Casa da Qualidade, por descrever a seqüência de atividades para alcançar a qualidade necessária esperada pelo cliente. Deve-se considerar, no entanto, que os requisitos de qualidade já foram estabelecidos na concepção do produto original. Nesta fase se determinam, inicialmente, as peças do produto que deverão ser redesenhadas. No caso da remanufatura, esta ferramenta poderá ser utilizada conforme os procedimentos realizados no estudo feito por Armacost; Balakrishnan; Pet-Armacost (1999), ou por Puglieri et al (2009).

Ainda no processo de redesign recomendado por Dufour (1996), os princípios da técnica QFD devem ser complementados com um

conjunto de requisitos quantificáveis e métricos que caracterizem a reutilização e a remanufatura. Para aumentar estes requisitos, duas abordagens podem ser utilizadas: (i) Do geral ao específico, no qual uma abordagem "top-down" é usada, considerando os seguintes estágios para estabelecer os parâmetros métricos da remanufaturabilidade: desmontagem, limpeza, inspeção e classificação, atualização ou renovação das peças e remontagem, e; (ii) Do específico ao geral, em que uma abordagem "bottom-up" é utilizada a partir de casos específicos. As peças são desmontadas e remontadas várias vezes para estabelecer os parâmetros métricos de remanufatura. Segundo o autor, estes parâmetros métricos são utilizados para quantificar o grau de remanufaturabilidade do produto, como também complementar os requisitos de remanufatura com o uso dos diagramas da Casa da Qualidade.

Assim, os requisitos do produto devem ser determinados e separados em obrigatórios e desejáveis. Requisitos obrigatórios deverão ser atendidos em quaisquer circunstâncias partir dos objetivos e das condições e restrições pré-estabelecidas. Os requisitos desejáveis devem ser considerados sempre que possível, considerando sua importância relativa classificando-as como de grande, média ou pequena importância. Nesta perspectiva, a pesquisa realizada por Amezquita et al (1995) fornece uma lista de requisitos de design que pode ser utilizada no redesign para remanufatura.

Na tradução dos requisitos abstratos para valores mensuráveis, deve-se determinar o maior número de requisitos técnicos que satisfaçam às necessidades do cliente. Para a remanufatura Hundal (2000); Cooper e Vigon (2001) fornecem em seus estudos procedimentos que podem ajudar na avaliação de impacto do ciclo de vida a partir do fluxo de materiais e de energia, devendo-se considerar, inclusive, que o produto terá mais um ciclo de uso completo.

Nesta fase, as especificações de design determinam e definem os parâmetros que o produto deverá cumprir, o Perfil do Produto Remanufaturável (RPP) proposto por Zwolinski e Brissaud (2008) orienta quanto aos principais critérios que um produto em desenvolvimento, ou em redesign, deverá alcançar para ser considerado como remanufaturável.

Além disso, o redesign do produto deve ser realizado observando os fatores ambientais do ciclo de vida do produto original para identificar e reduzir os impactos ambientais, e os parâmetros que determinam um produto dito 'ecologicamente correto' devem ser

avaliados e incluídos no projeto. Para isso primeiramente deve-se identificar que fatores no produto poderiam ser nocivos ao meio ambiente, isto pode ser realizado através da matriz que analisa o projeto e o processo de fabricação, conforme Matriz de Análise Ambiental do Produto e do Processo já apresentadas neste estudo no item 2.1.1. Neste caso, o objetivo do redesign é possibilitar que os produtos sejam separados em partes ou desmontados para futuro reaproveitamento.

**Fase 2. Estrutura funcional de remanufatura** – nesta fase as informações geradas anteriormente são usadas para gerar uma estrutura funcional para o sistema. A base de conhecimento para esta fase é o sistema físico existente e as especificações do design detalhado, assim, a próxima etapa seria gerar uma nova estrutura funcional para o produto. Um dos métodos utilizados nesta fase é o da síntese funcional que serve para estabelecer a função total de um sistema técnico (Figura 08).



Figura 08: Representação de um sistema técnico

Fonte: Back (1983 apud DUFOUR, 1996)

A partir de um problema são determinadas as ações necessárias para formular uma função total do sistema, bem como as ações necessárias para substituir esta função total por estruturas de funções parciais ou elementares, estabelecendo a função técnica geral e definindo as entradas e as saídas do sistema.

A base de conhecimento para esta fase é o sistema físico existente e as especificações do design detalhado, assim, a próxima etapa seria gerar uma nova estrutura funcional para o produto. Dufour (1996) define os seguintes passos para se atingir este objetivo:

- examinar o produto original e/ou seus desenhos técnicos das peças ou sistemas, identificando aquelas a serem redesenhadas;
- determinar as relações do sistema técnico com o meio ambiente: refere-se a selecionar e analisar as entradas e saídas do sistema;
- determinar e descrever o princípio de funcionamento do sistema, eliminar juntas ou uniões fixas e elementos de funções auxiliares, simplificando a configuração na forma da função;
- separar os grupos funcionais e representar o sistema por uma estrutura funcional e determinar as grandezas funcionais;
- definir a função principal e secundárias do sistema.

Neste momento, diretrizes de design para a remanufatura podem ser aplicadas a fim de definir as funções e sub-funções de remanufaturabilidade do sistema.

Esta fase é onde se apresenta a maior oportunidade de obter a melhoria do produto ou realizar mudanças no projeto. A Matriz RemPro (SUNDIN, 2004) pode ser utilizada para realizar as melhorias, uma vez que por meio de sua aplicação se pode determinar que características do produto poderiam ser um problema para o processo de remanufatura, ou seja, identifica quais as estruturas funcionais de solução de redesign sugeridas que poderiam dificultar ou favorecer o processo de remanufatura, servindo, portanto, como importante ferramenta de seleção.

***Fase 3. Redesign conceitual remanufaturável*** - após definida a estrutura funcional do sistema, são geradas alternativas para a estrutura que satisfaçam às especificações de design estabelecidas no início do redesign, podendo dividir a nova estrutura funcional do sistema em funções parciais, funções elementares e operações básicas, interligadas para satisfazer os requisitos funcionais do sistema total. Por último, os princípios alternativos de solução para cada função da estrutura são estabelecidos e, então, se decide sobre o princípio de solução final.

Nesta fase recorreu-se a Rozenfeld et al (2006) que sugerem após gerar alternativas de princípios de solução para o produto, desdobrá-los em sistemas, subsistemas e componentes para definir a arquitetura do produto. Para a remanufatura considera-se esta atividade como de grande importância, tendo em vista que os tipos de módulos, juntas e fixadores entre peças e componentes são que definem a desmontabilidade e a conseqüente remanufaturabilidade de um produto.

Assim, Rozenfeld et al (2006) recomendam o uso de um esquema gráfico dos elementos funcionais do produto, chamado de arquitetura modular, que identifica a interação das interfaces entre peças e componentes. Define-se, portanto, a arquitetura do produto que assume uma forma gráfica. O desenvolvimento da arquitetura envolve a divisão e identificação dos sistemas e subsistemas bem como a combinação entre eles. Considerando o escopo desta pesquisa, o conceito de arquitetura modular parece ser o mais indicado, tendo em vista que módulos independentes desempenham funções independentes, o que pode facilitar a desmontagem e inspeção de peças e componentes. Esta qualidade favorece a modificação e a troca de peças sem comprometer a estrutura global do sistema, característica essencial que facilita o processo de remanufatura.

A Matriz Indicadora de Módulos (MIM) (ERIXON et al, 1996 apud ROZENFELD et al, 2006) é ferramenta que indica quais funções do produto apresentam maior aptidão para formar módulos (Figura 09).

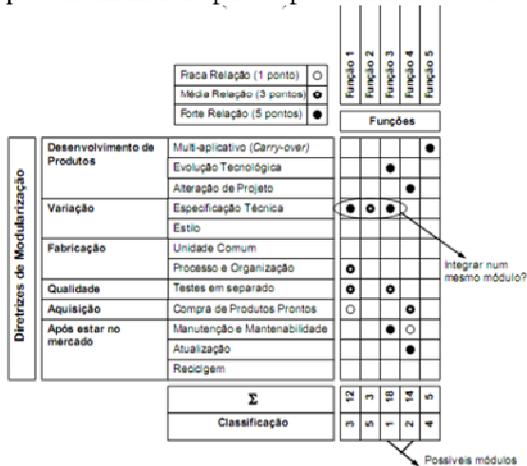


Figura 09: Matriz Indicadora de Módulos

Fonte: Erixon et al(1996 apud ROZENFELD et al 2006)

Essa ferramenta propõe a aplicação de 12 diretrizes como critérios para definir as funções que poderão ser modularizadas. Essas diretrizes são confrontadas com as funções do produto em que valores são atribuídos para cada relacionamento, os melhores pontos indicam as funções que poderão ser modularizadas.

Uma ferramenta utilizada para gerar alternativas de solução é a Matriz Morfológica, que quando empregada para o redesign de produtos podem-se adotar os seguintes passos (DUFOR, 1996):

- Determinação da seqüência de funções do processo. As funções mais gerais podem sofrer desdobramentos quanto à forma em que são feitas, tipos de dispositivos ou princípios. O nível de redesign seja de peças, operação ou de produção, será o que determina o desdobramento das funções na matriz;
- Preenchimento da primeira coluna da matriz com a seqüência de funções;
- Busca de princípios de solução alternativos para cada função listada na primeira coluna. As soluções podem ser na forma de descrições literárias ou representações gráficas. São preenchidas tantas soluções quanto possível;

- Busca de soluções ou concepções alternativas para o problema global de redesign. São estabelecidas combinações adotando o princípio de solução de uma linha com os princípios das demais linhas;
- Avaliação e seleção das alternativas, e;
- Determinar o layout e descrever a melhor concepção.

O método da matriz morfológica pode ser utilizado para gerar alternativas de solução, conforme exemplificado na Figura 10.

Sub-funções		1	2	...	j	...	m
Soluções							
1	F1	S11	S12	...	S1j	...	S1m
2	F2	S21	S22	...	S2j	...	S2m
...	...	...	...	...	...	...	...
i	Fi	Si1	Si2	...	Sij	...	Sim
...	...	...	...	...	...	...	...
n	Fn	Sn1	Sn2	...	Snj	...	Snm

Figura 10: Matriz Morfológica

Fonte: Rozenfeld (2006)

Outra ferramenta sugerida por Rozenfeld et al (2006) para esta fase é a Matriz de Interfaces que pode ser utilizada para indicar o tipo de interface, restrições e tempo de montagem e, no caso da remanufatura, também pode ser utilizada para estimar o tempo de desmontagem (Figura 11).

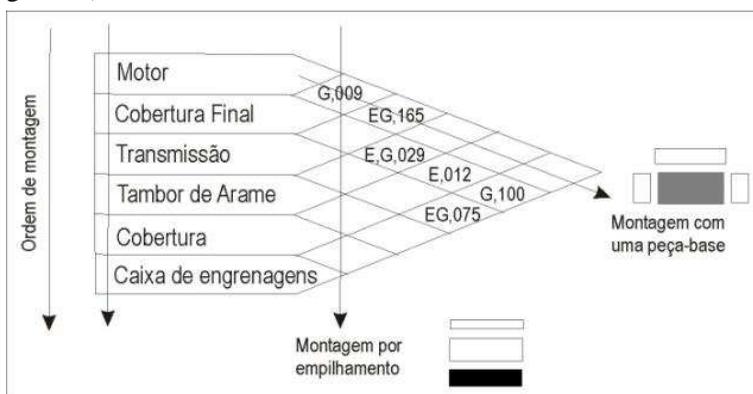


Figura 11: Matriz de Interfaces

Fonte: Erixon et al(1996 apud ROZENFELD et al 2006)

A Matriz de Interfaces define a integração entre os subsistemas e componentes da estrutura do produto, importantes para a sua montagem e desmontagem, em virtude da intercambialidade entre os sistemas, subsistemas e componentes.

Embora o processo apresentado por Rozenfeld et al (2006) seja indicado para o desenvolvimento de produtos e não para o redesign, as ferramentas sugeridas por estes autores são válidas e aplicáveis para a fase de redesign conceitual, tendo em vista que, segundo os mesmos autores, estas constituem-se como melhores práticas para auxiliar a geração de soluções para o produto que se está projetando.

Durante o processo de redesign de produtos remanufaturáveis devem-se fazer ainda considerações de *Design for Environment* – DFE com o objetivo de facilitar o reaproveitamento de peças e materiais do produto, bem como adaptar os novos materiais e processos para criação de melhores e novos produtos ambientalmente adequados. A melhoria pode ser baseada em vários fatores descritos na norma alemã VDI2243, por exemplo.

***Fase 4. Redesign detalhado remanufaturável*** - fase de projeto detalhado, em que se considera o processo de montagem e as características dos materiais que influenciam fortemente o processo de remanufatura. Isto porque os materiais devem ser resistentes para suportar as etapas de limpeza, remodelação e desmontagem, e as técnicas de montagem devem permitir a desmontagem sem danificar peças, permitindo ainda realizar limpezas e manutenções. Para esta tarefa uma ferramenta válida para elaborar a seqüência de desmontagem para um produto é a espinha de peixe, já apresentada e discutida neste documento.

Outro elemento importante nesta fase é a confiabilidade do produto que se está melhorando. O FMEA, que inclui o prognóstico da confiabilidade e teste de confiabilidade, procura assegurar a confiabilidade do produto para cumprir os seguintes objetivos: (i) identificar os problemas que afetam a confiabilidade de um produto, dentro de determinadas especificações (concepção original); (ii) focar o redesign dos componentes visando sua confiabilidade, e; (iii) integrar o projeto para confiabilidade com o redesign do produto, para assegurar o melhor atendimento dos requisitos (DUFOUR, 1996). Esses elementos podem ser considerados para melhorar o desempenho das peças para suportar manutenções e recuperações dos sucessivos processos de remanufatura que um produto poderá passar.

Esta ferramenta também pode ser utilizada, segundo Sherwood e Shu (2000), para identificar os obstáculos à reutilização de peças e para desenvolver estratégias de design, como orientações e indicadores, que permitem uma remanufatura mais eficiente.

Outra ferramenta de análise sugerida é o Design e Avaliação Estético Expressivo (DUFOR, 1996), que diz respeito ao aspecto estético-formal do produto. Refere-se ao processo de seleção dos materiais para satisfazer às necessidades funcionais e estéticas, considerando as limitações dos meios de produção disponíveis. Os objetivos do uso do redesign estético expressivo são: (i) identificar os problemas que afetam a performance do produto, dentro das especificações estéticas expressivas do design original do produto; (ii) fazer o redesign do produto o mais atrativo para o cliente, e; (iii) integrar o projeto estético expressivo com o redesign do produto para melhor atendimento aos requisitos propostos.

As métricas para a remanufaturabilidade de produtos de Brás e Hammond (1996) podem ser utilizadas como ferramenta de avaliação do projeto de redesign para remanufatura, pois oferece critérios quantificáveis para medir se um produto é remanufaturável. Além disso, critérios podem ser definidos para avaliar cada fase do projeto para verificar as atividades realizadas, bem como a qualidade dos resultados alcançados. Para isso Rozenfeld et al (2006) sugerem um check-list com as seguintes atividades: (i) definir os critérios a serem utilizados no final de cada fase; (ii) avaliar se os critérios são realizados ou não, e; (iii) realizar a avaliação da fase e aprovação. Esta avaliação deve ser complementada com uma análise econômico-financeira para garantir que está de acordo com os interesses da empresa.

Como visto, o processo de redesign de produtos é tão complexo e amplo como o processo de design para novos produtos. Essa complexidade se reflete tanto nos procedimentos que se devem realizar durante as fases e atividades, quanto nas informações que definem um redesign final para o produto.

As etapas do processo de design foram estudadas, em que as fases, tarefas e atividades foram consideradas também para o redesign de produtos. A seqüência de fases do processo de redesign apresentada é utilizada como referência para esta pesquisa, e servirá de base para a estruturação da sistemática que deverá orientar o processo de redesign para remanufatura.

### 3 REMANUFATURA

Este capítulo discute a remanufatura como estratégia fundamental para o reaproveitamento de peças e produtos em fim de vida. Os aspectos do processo de remanufatura são relacionados, a fim de identificar, analisar e relacionar os principais elementos que caracterizam o produto remanufaturável. Modelos, técnicas e ferramentas de design para a remanufatura também são discutidos, considerando os procedimentos e as atividades mais adequadas para estabelecer critérios para o redesign de produtos remanufaturáveis.

#### 3.1 CONCEITO E CARACTERIZAÇÃO

O aumento da concorrência aliada a restrições impostas por leis ambientais estão forçando empresas a buscar por oportunidades para aumentar seus lucros. Uma forma de alcançar este objetivo é buscar por alternativas ao longo da cadeia de valor do produto durante a fase de uso, pois existem boas oportunidades econômicas no mercado de reposição como, por exemplo, o de toner de impressora. Em razão disso, empresas mudam de fabricação tradicional do produto físico para o foco sobre o seu ciclo de vida, com ênfase nas fases de utilização e de fim de vida, que incluem as estratégias de serviço, reuso e remanufatura (SUNDIN e LINDAHL, 2008).

A remanufatura é considerada uma estratégia fundamental para produção sustentável e de gestão de resíduos que pode ter um impacto positivo em todos os três pilares da sustentabilidade: econômico, ambiental e social. Porque oferece a oportunidade de empresas tornarem-se mais competitivas com produtos de qualidade e preços mais baixos, proporcionando a criação de emprego, especialmente para trabalho pouco qualificado. Oferece ainda bens de qualidade a preços que consumidores de baixa renda podem pagar (IJOMAH, 2009).

Em certo sentido, o processo de remanufatura existe desde que os produtos foram fabricados, mas ganhou reconhecimento em 1984 quando o Professor Robert T. Lund publicou um relatório sobre Remanufacturing como indústria em si, desde então muita atenção se tem dado a este processo (ARMACOST et al, 1999).

Ainda durante a Segunda Guerra Mundial, quando muitas instalações fabris mudaram de produção normal para a produção militar, a indústria de remanufatura recebeu um forte impulso quando remanufaturados eram utilizados em larga escala a fim de manter as necessidades da sociedade (CHIU, 2008).

No Brasil ainda são incipientes as ações deste mercado, que tem na indústria de peças automotivas a iniciativa pioneira de montar uma associação preocupada em passar para os consumidores o conceito e as vantagens de um produto remanufaturado. A Associação Nacional dos Remanufaturadores de Autopeças - ANRAP foi criada em 1994 pelas empresas Cummins, Bosh, Sachs, TRW, Luk e Knorr Bremse, que trouxeram os conhecimentos sobre remanufatura dos mercados internacionais para o Brasil. Mesmo assim, enquanto empresas de restauração e proprietários de veículos de países da Europa e Estados Unidos utilizam mais de 65% de peças remanufaturadas, no Brasil é alcançando apenas o índice de 5%. (RAMOS, 2005).

Em todo o mundo o setor automotivo é o que mais tem experiência em remanufatura, e que foi responsável em disseminar seu conceito durante as últimas décadas para outros setores como os de eletrodomésticos, elétricos, cartuchos de impressoras, máquinas e telefones celulares. Atualmente as peças automotivas são responsáveis por dois terços de todos os produtos remanufaturados (CHIU, 2008).

De acordo com Ijomah et al (2007), remanufatura é o processo pelo qual passa produtos usados para adquirir um 'novo' estado funcional com garantia de qualidade equivalente a de um produto novo. Pode ser rentável e menos prejudicial ao meio ambiente do que a produção convencional, porque reduz o nível de aterro e uso de material virgem, energia e trabalhos especializados na sua fabricação. Ainda para Ijomah et al (2007), é preferível à reciclagem, porque atribui valor aos resíduos dos produtos por devolvê-los às condições iniciais de funcionamento. Trata-se também de um processo de educação porque se trabalha com a hipótese da consciência ambiental, ou mudança do comportamento do consumidor, em adquirir um produto usado que depois do reuso deve retorná-lo para um novo ciclo de vida.

É a prática de desmontagem, limpeza, reparação, substituição de peças (se necessário) e a remontagem de um produto de tal forma que tenha qualidade, no mínimo, equivalente a de um produto novo (CHIU, 2008; HAMMOND et al, 1998; BRAS e HAMMOND, 1996). Envolve tipicamente um maior grau de conteúdo de trabalho do que reparo e recondição, pois exige a desmontagem total do produto, limpeza, restauração e renovação de seus componentes. Os principais fatores que impulsionam a remanufatura são (AMEZQUITA et al, 1995; IJOMAH et al, 2007):

- Ambientais - a necessidade de diminuição dos resíduos durante a extração de materiais e processos de fabricação em todo o ciclo de vida do produto;
- Legislação - acordo internacional para reduzir o impacto ambiental dos produtos e processos de fabricação, e;
- Economia – pois remanufatura é muitas vezes uma consequência da relação custo-benefício, ou seja, peças remanufaturadas possuem faixa de preço significativamente mais baixa do que uma peça nova equivalente. Além disso, a reutilização de componentes existentes reduz despesas monetárias da empresa na produção ou aquisição de novos componentes.

Um produto projetado para remanufatura significa dizer que o mesmo poderá ser devolvido a estado de funcionamento com certo grau de confiança que irá suportar outro ciclo de vida completo. Exige de 50% a 80% menos energia para ser produzido e pode fornecer de 20% a 80% em economia de custos de produção em comparação com a produção convencional (IJOMAH; CHILDE; MCMAHON, 2006). Para Ijomah et al, (2005), a questão chave deste conceito está na adoção de uma garantia do produto remanufaturado equivalente a do Fabricante do Equipamento Original (Original Equipment Manufacturing - OEM).

Apesar de o tema ser amplamente discutido nos dias atuais, ainda permanece confusão sobre o termo remanufatura que muitas das vezes é confundido com recondicionamento, reparação, reciclagem ou recuperação (ARMACOST et al, 1999; IJOMAH et al, 2005).

A remanufatura restabelece o produto a uma nova condição de uso por meio do reaproveitamento, recuperação e substituição de peças. Enquanto que o recondicionamento envolve a restauração de peças a fim de devolver o produto a um estado funcional ou satisfatório por pintura, acabamento, e etc. O reparo traz os componentes danificados de voltar a uma condição funcional (AMEZQUITA et al, 1995).

Mesmo com as vantagens das peças remanufaturadas, estas ainda são pouco utilizadas no Brasil em relação às recondicionadas, devido principalmente ao custo e à falta de informação (AMARAL, 2008). A ambigüidade de sua definição também contribui para isso, pois, como dito anteriormente, remanufatura geralmente é confundida com outros conceitos, especialmente com recondicionamento e reparação. Preocupado com este cenário, Ijomah et al (2007) propõem a seguinte diferenciação entre esses conceitos:

**Remanufatura:** é o processo de devolução de um produto usado com especificação de desempenho do OEM a partir da perspectiva dos clientes, dando ao produto obtido a garantia de que seja pelo menos igual ao de um equivalente recém-fabricado;

**Recondicionamento:** o processo de devolução de um produto usado para uma satisfatória condição de trabalho que pode ser inferior às especificações originais. Geralmente, o produto resultante tem uma garantia que é menor que a de um equivalente recém-fabricado. A garantia é válida para todas as peças principais desgastadas.

**Reparação:** Reparar é simplesmente a correção de falhas em um determinado produto. Quando os produtos reparados têm garantias, estas são menores que os equivalentes recém fabricados. Além disso, a garantia não cobre todo o produto, mas apenas o componente que foi substituído.

O Quadro 05 apresenta uma caracterização comparativa entre esses conceitos. O item ‘reparação’ foi adicionado ao quadro conforme Ijomah et al (2007) e Ramos (2005).

REMANUFATURA	RECONDICIONAMENTO	REPARAÇÃO
<b>APLICABILIDADE</b>		
Produto usado	Produto usado	Produto com defeito
Produto com defeito		
<b>PROCESSO</b>		
Desmontagem completa	Detecção de falha	Detecção de falha
Limpeza de todas as peças	Desmontagem de algumas peças	Desmontagem de algumas peças
Reparação, reconstituição, atualização, substituição de peças e componentes	Peças e componentes são reformados	Restauro ou substituição de peças e partes defeituosas
Remontagem do produto	Remontagem de peças	Remontagem de peças
<b>CARACTERÍSTICAS</b>		
Processo industrial. Os profissionais são treinados e qualificados para exercer a função	Trabalho mecânico. Geralmente não há treinamento específico para os profissionais	Trabalho mecânico. Não há treinamento específico para os profissionais
Restauração total do produto, e seus componentes são novos	Restauração individual de defeito	Reparação individual de defeito
A propriedade sobre o produto é anônima	O cliente pode ou não manter a propriedade sobre o produto	O cliente mantém a propriedade sobre o produto

O cliente adquire a peça ou produto que pode custar de 30% a 50% menos em relação a um item novo	O cliente pode adquirir uma peça recondicionada ou pagar pelo serviço de recondicionamento	O cliente paga pelo serviço de reparação
Garantia similar a de um produto novo do fabricante original, possui normas de qualidade e durabilidade média de 85% em relação à peça nova. Garantia média de um ano e da marca	Garantia válida para todas as peças principais desgastadas. Não dispõem de normas de qualidade. A durabilidade é bem menor, cerca de 50% em relação a uma peça nova. A garantia muitas vezes dura alguns meses e depende da marca	Garantia dada ao componente que foi reparado
Atualização	O padrão é mantido	Busca-se manter o padrão.

Quadro 05: Comparação entre remanufatura, recondicionamento e reparação

Fonte: Adaptado de Gray e Charter (2007)

O esforço necessário para completar o processo de remanufatura é consideravelmente superior ao que é exigido para realizar o recondicionamento ou a recuperação. Isto implica que dependendo de qual seja o destino final das peças, a desmontagem terá características diferentes que, no caso da reutilização, obriga-se a uma desmontagem mais cuidadosa que a reciclagem, pois condiciona a qualidade final da peça para o reuso.

A remanufatura se diferencia também pela análise técnica do produto por profissionais especialmente treinados para esta função.

Com relação às vantagens econômicas, é uma maneira mais eficiente para a redução de custos operacionais e para quem precisa economizar. Por exemplo, uma embreagem nova tem vida útil de 50 mil quilômetros, quase o mesmo de uma remanufaturada, que tem a vantagem de ser mais barata e com a mesma garantia de uma nova. A recondicionada custa bem menos e tem a durabilidade de 15 mil quilômetros (RAMOS, 2005).

Sundin (2004) considera os seguintes fatores como barreiras à remanufatura: (i) a falta da disponibilidade de peças e custo de substituição; (ii) a diversidade de produtos; (iii) limpeza/corrosão; (iv) o design e questões como complexidade da peça, métodos de fixação, meios de montagem e desmontagem e fragilidade de peças; (v) além da competência de funcionários. Os problemas enfrentados pela remanufatura podem ser vários, incluindo a qualidade incerta do produto após o uso e a baixa quantidade de informações necessárias sobre o

produto antes que ele possa entrar no processo, servindo de obstáculos para a recuperação do valor dos produtos devolvidos.

No entanto, a maioria dos autores estudados considera a remanufatura uma estratégia fundamental para produção sustentável, que desempenha um papel importante na mudança de paradigma da venda do produto para a indústria de serviço.

Conclui-se, portanto, que remanufatura é o processo pelo qual produtos usados são levados a um novo ciclo de vida por meio da reutilização, recuperação e substituição de peças e componentes, com funcionamento e garantia de qualidade equivalentes a de um produto novo e de acordo com as especificações do fabricante original.

Esse processo pode incidir sobre o produto completo ou somente sobre partes e componentes, mesmo assim a peça ou produto será limpo e desmontado para sua completa recuperação e posterior remontagem. Na indústria automobilística, por exemplo, peças são remanufaturadas, enquanto que na indústria eletrônica e de eletrodomésticos produtos inteiros podem ser remanufaturados. Tal consideração é importante para entender que as operações que envolvem o conteúdo de trabalho exigido para realizar o processo de remanufatura podem diferir entre os diversos tipos de produtos, entretanto, é possível identificar etapas que são comuns ao processo, conforme será discutido na próxima seção.

### 3.2 O PROCESSO DE REMANUFATURA

Se analisarmos a remanufatura de um ponto de vista de processo, ela se inicia antes da chegada do produto usado (núcleo) para desmontagem. Segundo Ferrer e Whybark (2000) e Japke (2009), ela começa com a logística reversa responsável pela coleta e entrega do núcleo ao remanufaturador (Figura 12).

O produto quando chega ao remanufaturador é examinado e completamente desmontado, todas as suas peças são inspecionadas e analisada para verificar a possibilidade de reaproveitamento. Todos os componentes funcionais são limpos e adiciona-se vedante ou pinturas para proteção, posteriormente, são armazenados. Se identificadas falhas ou danos irreparáveis, as peças são substituídas e as danificadas são encaminhadas para a reciclagem, incineração ou aterros (JAPKE, 2009).

O produto então é remontado e passa por uma série de testes para verificar se funciona como um novo. Se durante os testes forem observadas falhas, o produto retorna a etapa de desmontagem e se reinicia o processo.

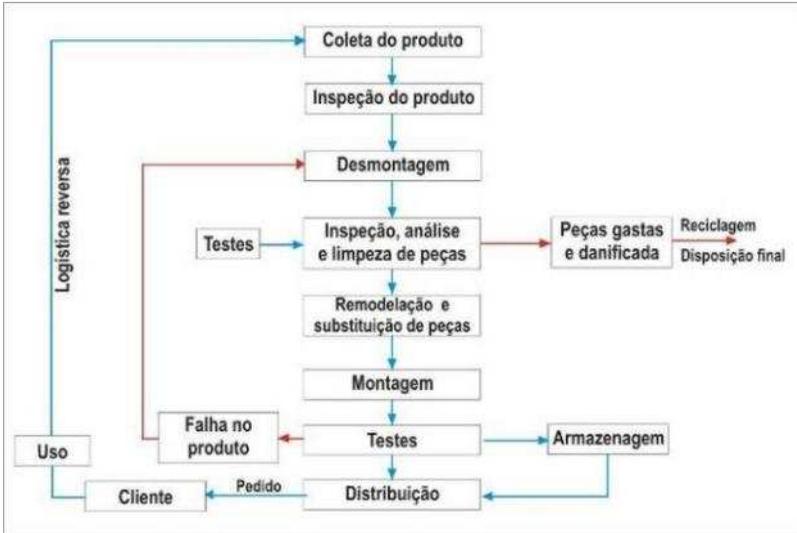


Figura 12: Etapas genéricas do processo de remanufatura

Fonte: Adaptado de Ijomah et al (2007).

Cumpridas todas as etapas, finalmente o produto remanufaturado vai para armazenagem ou para distribuição, conforme pedido do cliente (GUIDE JR., 2000; IJOMAH et al, 2007; SUNDIN; LINDAHL; IJOMAH, 2009).

Neste estudo, denomina-se remodelação a atividade de reparação e reconstituição de peças por processos de recuperação, incluindo a substituição das peças danificadas por novas.

A seguir, se descreve a importância que cada etapa representa para o funcionamento desse processo (HUNDAL, 2000; BRAS e HAMMOND, 1996; AMEZQUITA et al, 1995; SHU e FLOWERS, 1999; GUIDE JR., 2000; BARQUET e FORCELLINI, 2009):

*Coleta do produto* – As atividades da logística reversa impactam diretamente sobre o processo de remanufatura, uma vez que ela é responsável pelo recolhimento do produto usado que, depois de remanufaturado, deverá retornar ao mercado consumidor. Esta etapa do processo é importante para balancear o retorno de produtos usados com a demanda por produtos remanufaturados;

*Inspeção do produto* – Inspeção refere-se ao processo de análise qualitativa do produto para identificar danos. Realizada geralmente de forma visual, evita complicações referente às restrições e incertezas sobre a possibilidade de reaproveitamento de peças e materiais do

produto. A inspeção é essencial para garantir que peças defeituosas não serão reutilizadas. Esta prática serve para dois propósitos: (i) aplacar as preocupações do consumidor ao adquirir um produto remanufaturado e, (ii) conferir à remanufatura a confiança necessária para emitir uma garantia ao produto;

*Desmontagem* – existem muitas semelhanças entre os processos de montagem e de desmontagem. Por uma questão prática de remanufatura, a seqüência de desmontagem é muitas vezes o oposto da remontagem. Muitas das ferramentas, técnicas e equipamentos são os mesmos utilizados para realizar ambos os processos. Entretanto, cada uma tem suas preocupações exclusivas, pois ao melhorar um processo o outro não necessariamente pode melhorar. A probabilidade de ocorrer danos durante a desmontagem e remontagem, em consequência dos procedimentos de alguns métodos de fixação ou união, pode afetar significativamente a remanufatura e, conseqüentemente, reduzir o tempo de vida do produto e aumentar os custos de substituição;

*Inspeção e análise de peças* – A inspeções de peças é realizada durante a desmontagem ou imediatamente após a limpeza. Cada uma deve ser inspecionada por danos visíveis a fim de garantir que na remontagem do produto não serão usadas peças danificadas. Peças são analisadas para decidir sobre sua remodelação ou substituição por uma nova;

*Limpeza de peças* - É uma fase muito importante no processo de remanufatura, destina-se a remover qualquer impureza que não deva estar presente na peça. Envolve a remoção de substâncias que impediria ou dificultaria a realização de qualquer etapa do processo de remanufatura como, por exemplo, a aplicação de revestimentos de proteção ou pintura da etapa de remodelação. Durante esta atividade muitas substâncias estranhas são removidas, incluindo óleo, graxa, aparas de superfícies gastas, corrosão, sujeira, pó, fibras entre outros;

*Remodelação* – esta fase é responsável pela reparação e reconstituição de peças desgastadas por meio de usinagem e outros processos de recuperação, além da substituição e inserção de peças e componentes novos no produto. É também nesta fase que o produto pode ser atualizado com a inserção de novas funções que não foram previstas durante o seu primeiro ciclo de vida;

*Testes* – Esta etapa necessita de tempo adicional, ferramentas e equipamentos específicos. Peças, componentes e subcomponentes devem executar determinadas funções, por isso devem ser testados para

garantir que as realizará dentro dos parâmetros especificados, caso contrário, deverão ser substituídas por peças novas;

*Remontagem* – Quanto mais peças se reutilizam em um produto, mais rentável torna-se a remanufatura, especialmente se as peças são onerosas para substituir. Métodos modulares e padronização das peças utilizadas melhoram o processo e reduzem o tempo de remontagem. O tipo de encaixe pode acelerar o tempo de montagem como os rebites, contudo, removê-los é mais difícil. Além disso, a escolha dos tipos de encaixe e fixadores terá impacto direto na limpeza interna de componente e na substituição de peças por causa da dificuldade de acesso.

*Testes Finais* – O produto remanufaturado deve desempenhar uma função bem definida. Testes finais ajudam a reduzir preocupações do consumidor quanto a qualidade do produto remanufaturado, bem como garantir que o produto executará suas funções de forma satisfatória;

*Distribuição* – Etapa do processo que deve garantir a chegada do produto remanufaturado ao mercado consumidor na quantidade e qualidade adequadas, no momento e no preço certo.

O tipo de material tem grande influência sobre as etapas de limpeza do núcleo, remodelação e teste do produto. Um material de alta densidade tem impacto positivo, uma vez que aumenta a durabilidade e o potencial de uma peça para suportar os esforços de cada uma das etapas do processo. A identificação de peças impacta diretamente sobre a maioria das etapas (IJOMAH *et al*, 2007; SUNDIN; LINDAHL; IJOMAH, 2009).

Igualmente, os métodos de desmontagem e remontagem e as políticas e estratégias de reparação são importantes para manter o nível da garantia dada ao produto remanufaturado (SHU e FLOWERS, 1995).

Além do que foi especificado sobre as etapas de remanufatura, outros fatores podem impactar em várias atividades desse processo como, por exemplo, algumas características do produto remanufaturável, que podem ter um impacto positivo sobre uma atividade de remanufatura e ao mesmo tempo ter um impacto negativo sobre outra atividade. Como será tratado a seguir.

### 3.3 CARACTERÍSTICAS DO PRODUTO REMANUFATURÁVEL

Um produto concebido para remanufatura deve possuir especial ênfase sobre os seguintes aspectos: facilidade de desmontagem, facilidade de limpeza, facilidade de inspeção e controle, facilidade de substituição de peças, possuir componentes reutilizáveis, facilidade de remontagem, além da padronização de componentes, fechamentos e interfaces (AMEZQUITA et al, 1995; IJOMAH et al, 2007).

Segundo Hammond et al (1998), a remanufatura é mais viável para produtos que têm custo muito elevado para substituição ou têm componentes caros, cuja relação custo/eficiência pode ser avaliada com o objetivo de reuso ou recuperação. Observa-se, no entanto, que os critérios de decisão adotados por uma empresa para remanufaturar um produto não têm nada a ver com o design da peça em si, mas com o seu potencial no mercado de consumo (STEINHILPER, 1998).

Sundin; Lindahl; Ijomah (2009) ao investigarem as características de produtos com potencial para remanufatura, concluíram que produtos com potencial apropriado são aqueles considerados maduros, que são comuns em vários países e que não são afetados pela moda. Concluem ainda que a idade, a marca e o modelo do produto são bem menos importantes do que a sua funcionalidade. No entanto, Selinger; Kernbaum; Zettl (2006) apresentam estudos em telefones celulares como produtos remanufaturáveis.

Um exemplo interessante de equipamentos que podem ser remanufaturados é o das máquinas de venda automática de bebidas e doces (Figura 13).



Figura 13: Máquina de Vendas

Fonte: <http://images.google.com.br>. Acesso 07.10.2009

Estes produtos contêm uma variedade de componentes e peças que também são utilizados em automóveis e eletrodomésticos, tem um sistema de arrefecimento e refrigeração, um acionamento elétrico e sistema de controle. Podem ser desmontados, reconicionados e atualizados. Estes produtos conseguem se equiparar aos modelos atuais com adaptações de novas funções que não foram previstas durante o seu primeiro ciclo de vida (STEINHILPER, 1998).

Portanto, a remanufatura não está mais adaptada a produtos simples do que a produtos complexos, ou para produtos com fraco ou elevado potencial para a inovação e assim por diante. Inclusive, muitas vezes essas idéias pré-concebidas levam a empresa a rejeitar a remanufatura como estratégia eficiente de fim de vida (ZWOLINSKI e BRISSAUD, 2008).

Essencialmente, as características dos produtos remanufaturáveis são (ANDRUE, 1995 *apud* IJOMAH et al, 2007):

- O produto tem um núcleo que é a base da restauração do produto, e o fornecimento de tal núcleo é contínuo e está disponível;
- O produto apresenta apenas falha funcional, é produzido e montado em fábrica, não está em decomposição ou apresenta defeito permanente de todos os componentes;
- O núcleo é capaz de ser desmontado e restaurado conforme especificação original. O valor acrescentado ao núcleo é recuperável e elevado em relação ao seu mercado, tanto quanto ao seu valor e custo inicial;
- O produto e o processo tecnológico são estáveis.

Alem disso, é fundamental que as peças mantenham seu valor de uso e de conformidade, a fim de serem reutilizadas sem comprometer a durabilidade ou confiabilidade do produto final (CHIU, 2008). Nesse contexto, o design pode ser utilizado para garantir o reuso de componentes, especialmente se aplicado nas fases iniciais do projeto, pois é durante o estudo do ciclo de vida que se define de 80 a 90% dos benefícios que se pode obter com suas ferramentas e atribuir grande parte dos custos associados ao produto (DESAI e MITAL, 2003).

Portanto, para o design do produto remanufaturável é importante considerar as etapas de remanufatura ainda nas fases iniciais do projeto, uma vez que algumas características do produto em particular podem impactar simultaneamente sobre diversas etapas da remanufatura. Isto

significa que muito esforço pode ser feito em design do produto sem se obter os benefícios esperados (SUNDIN; LINDAHL; IJOMAH, 2009).

Assim sendo, estudos nesta área foram realizados a fim de identificar os aspectos de remanufaturabilidade do produto e encontrar as características de design que podem apoiar a remanufatura. É o que será discutido a seguir.

### 3.4 DESIGN PARA REMANUFATURA (DFREM)

O Design orientado para a Remanufatura (Design for Remanufacture – DFRem) ou Design para Remanufatura é a atividade de conceber e analisar um produto a partir de uma perspectiva de remanufaturabilidade (AMACOST et al, 1999; ZWOLINSKI e BRISSAUD, 2008). Remanufaturabilidade é a característica que um produto possui que representa o grau em que ele pode ser facilmente remanufaturado (AMACOST et al, 1999). Portanto, é a prática que enfatiza as questões relacionadas com o processo de remanufatura ao longo de todo o processo de desenvolvimento de produtos.

Mas design que facilita a remanufatura não está relacionado somente com a facilidade de desmontagem, limpeza etc., mas sim com o seu objetivo mais essencial, que é a reutilização de peças. Design que facilita a reutilização de peças é fundamental para apoiar a remanufatura, porquanto se uma peça não pode ser reutilizada como é após a sua recuperação, limpeza ou remontagem, esta será irrelevante para o processo (SHU e FLOWERS, 1999).

Para Ijomah (2009), existe no design de produtos uma necessidade urgente de desenvolver estratégias e instrumentos, ferramentas de concepção, bases de dados ou sistemas baseados no conhecimento, para auxiliar as equipes de desenvolvimento a tomar decisões eficazes que facilitem a integração de considerações ambientais e de remanufatura na concepção de produtos.

Entretanto, existe pouco interesse em se projetar para a remanufatura (HAMMOND et al, 1998; FERRER e WHYBARK, 2000). Grande parte dos produtos são remanufaturados mais por descobertas felizes do que por sua concepção (AZMEQUITA et al, 1995). Isto porque: (i) os projetos de produtos têm foco tipicamente na funcionalidade e custo em detrimento das questões ambientais; (ii) os profissionais de desenvolvimento de produtos geralmente possuem pouco ou nenhum conhecimento sobre remanufatura; (iii) existe uma escassez de conhecimento e pesquisa sobre este assunto (SUNDIN; LINDAHL; IJOMAH, 2009). Ademais, três quartos dos produtos

remanufaturados não foram projetados para desmontagem, resultando em impacto significativo sobre este processo (GUIDE JR, 2000). Disso resulta que grande parte dos produtos disponíveis hoje no mercado possui baixa remanufaturabilidade.

Além disso, Östlin; Sundin; Björkman (2009) argumentam que quando se tenta utilizar o resultado de muitos métodos e ferramentas de DFR existentes, falta apoio prático sobre o que fazer e como fazer as melhorias, não especificando como ou em que momento do processo de design do produto a ferramenta ou método deverá ser utilizado, ficando esta lacuna a cargo da equipe de desenvolvimento.

Para Sundin; Lindahl; Ijomah (2009) é importante fazer a identificação dos aspectos de remanufaturabilidade do produto ainda na fase de concepção a fim de encontrar as características de projeto que podem impedir a remanufatura e assim, determinar uma forma de como eliminá-las ou reduzir seus impactos negativos. Em estudos de caso realizados por estes autores em empresas remanufadoras da Suécia, Canadá e Japão, demonstrou-se que as etapas do processo de inspeção, limpeza e remodelação são as mais cruciais para a remanufatura.

Em contrapartida, Selinger; Kernbaum; Zettl (2006) consideram que a desmontagem e os testes são os principais condutores para remanufatura e que a modularidade de produtos é essencial para esta atividade, visto que um módulo pode cumprir, pelo menos, uma função independente sem nenhum componente adicional, o que favorece a desmontagem das peças e sua reparação. Além disso, é importante considerar, nos estágios iniciais da criação de produtos, uma lista de aspectos importante que possam facilitar a remanufatura. Todavia, é no processo de design onde se tem a menor quantidade de informações sobre a forma como pode ser feito um produto remanufurável (AMEZQUITA et al, 1995).

Com o intuito de minimizar essas necessidades, a partir da literatura, foram identificados os principais elementos que caracterizam o produto remanufurável, listados no Quadro 06.

<b>Autores</b>	<b>Caracterização do produto remanufurável</b>
Berko-Boateng et al (1993)	Peças modulares e padronizadas, fácil montagem e desmontagem, reduzida diversidade de materiais, valoração dos materiais, uso de materiais recicláveis
Amezquita et al (1995)	Fácil de desmontar, fácil de limpar, fácil de realizar inspeção e controle, fácil de substituir peças, possuir componentes modulares e reutilizáveis, fácil de remontar e ainda possuir componentes, fechamentos e

	interfaces padronizados. Peças resistentes ao processo de recuperação.
Shu e Flowers, (1995)	Simplicidade de juntas e fixadores
Hammond; Amezquita; Bras (1996)	Fácil limpeza, resistente a corrosão, simplicidade dos métodos de fixação, dos meios de montagem e desmontagem, peças resistentes, uso de materiais mais leves.
Bras e Hammond (1996)	Fácil Limpeza; facilidade de correção de falhas ou danos, facilidade de reparo, renovação e substituição; garantia de qualidade, testes e inspeção simples; simplificar interface de peças.
Hammond et al (1998)	Fácil reuso ou recuperação de peças e componentes
Shu e Flowers (1999)	Fácil desmontagem, seleção, limpeza, remodelação, montagem e avaliação
Rose; Beiter; Ishii (1999)	Tamanho, número e tipo de juntas e fixadores entre as peças; número de diferentes materiais; número de módulos; nível de limpeza; nível de perigos
Armacost; Balakrishnan; Pet-Armacost (1999)	Fácil avaliação, fácil desmontagem, fácil limpeza, fácil inspeção, montagem, embalagem e teste
Vakili e Shu (2001)	Fácil reutilização, reparo e a substituição de peças
Sherwood e Shu (2000)	Fácil reutilização de peças e testes
Mangun e Thurston (2002)	Fácil reutilização de peças, uso de material reciclado, desmontagem
Sundin e Lindahl (2004)	Fácil inspeção, limpeza, desmontagem, armazenagem, remodelação, remontagem e teste
Sundin (2004)	Facilidade de identificação, facilidade de verificação, facilidade de acesso, facilidade de manuseio, facilidade de separação, facilidade de segurança, facilidade de alinhamento, facilidade de empilhamento, resistência ao desgaste.
Selinger; Kernbaum; Zettl (2006)	Fácil desmontagem, testes e possuir modularidade
Barker e King (2007)	Reduzir custos e tempo de desmontagem do produto, aumentar qualidade e propriedade dos materiais, fácil desmontagem e inspeção de peças.
Ijomah et al, 2007	Fácil de desmontar, fácil de limpar, fácil de realizar inspeção e controle, fácil de substituir peças, possuir componentes reutilizáveis, fácil de remontar e ainda possuir componentes, fechamentos e interfaces padronizados.
Zwolinski; Lopez-Ontiveros; Brissaud (2006) Zwolinki e Brissaud (2008)	Redução do número de peças, arquitetura, técnicas de união entre peças, reutilização, testes, limpeza, reparação e restauração de peças e juntas.
Sundin; Lindahl; Ijomah (2009)	Fácil inspeção, limpeza e remodelação são as mais cruciais para a remanufatura

Puglieri (2009)	Fácil de desmontar, fácil de limpar, fácil de identificar, fácil de manusear, fácil de separar componentes, fácil de remontar, fácil estocar/armazenar, resistência ao desgaste.
Ijomah (2009)	Materiais resistentes, evitar o uso de diferentes materiais, fácil limpeza, fácil inspeção, fácil desmontagem, identificar componentes e peças, reduzir peças e componentes, fácil substituição de peças e facilitar os testes.

Quadro 06: Principais elementos que compõem o produto remanufaturável

Fonte: Revisão de literatura

Para melhor análise desses elementos, estes foram relacionados com o processo de remanufatura, conforme segue (AMEZQUITA et al, 1995; HUNDAL, 2000; ZWOLINSKI e BRISSAUD, 2008; IJOMAH et al, 2007; SHU e FLOWERS,1995; 1999: HAMMOND; AMEZQUITA; BRÁS, 1996: SUNDIN; LINDAHL, IJOMAH, 2009):

### De Legislação

- As às futuras exigências legislativas ambientais, bem orientações de DFRem devem conduzir o desenvolvimento e adequação de produtos para a remanufatura de modo que possam responder às atuais e se prevenir em relação como apresentar um bom potencial para satisfazer o seu design original, e ainda, oferecer condições para atualização após o primeiro ciclo de uso (desejável).
- Conforme as características do produto a ser remanufaturado, deve-se observar o que especifica a legislação ambiental vigente, não só no que diz respeito ao processo de remanufatura, mas também sobre o uso durante ciclo de vida, reaproveitamento e reciclagem de materiais, emissões, consumo de energia, geração e destinação de resíduos;
- No Brasil ainda não existe uma legislação específica que reze sobre o processo e o produto para remanufatura.

### De Desmontagem e Remontagem

- Utilizar orientações do DFA (Design for Assembly) e do DFD (Design for Disassembly) e projetar componentes modulares, componentes padrão, e desenhos relativamente simples que facilitem o processo de remanufatura;
- Deve-se reduzir o tempo de desmontagem, esta é uma das questões-chave nas orientações de DFRem;

- A desmontagem não é simplesmente o oposto da montagem e requer considerações especiais próprias. Por exemplo, as propriedades dos componentes para a montagem, como a inserção de peças, são diferentes dos passos correspondentes a desmontagem para a extração de peças;
- Utilizar sistemas de juntas e fixação que facilite a substituição e reutilização de peças por várias vezes, que permitam que uma maior quantidade de peças sejam reutilizadas sem retrabalho;
- Para a garantia de qualidade do processo, a instalação de remanufatura deve ter acesso aos conhecimentos dos procedimentos de montagem do produto original;
- As regras de design recomendadas para a desmontagem são: (i) disponha em subconjuntos para fácil desmontagem; (ii) use junções e sistemas de fixação que são fáceis de separar; (iii) as junções devem ter expectativa de vida igual ao produto inteiro.
- O projeto deverá centrar-se sobre a desmontagem para garantir que o produto seja remanufaturado. As duas idéias-chaves que os designers devem extrair são desmontagem não-destrutiva e prevenir que as peças principais não sejam danificadas.

### **De Limpeza**

- O design das peças deve ser de tal maneira que as superfícies a serem limpas devem ser acessíveis sem juntar resíduos, inclusive os de limpeza;
- Deve-se especificar ainda na fase de projeto o que pode ser utilizado como método de limpeza, de forma a não utilizar materiais perigosos e contaminantes;
- Estima-se que 90% das peças para a remanufatura devem ser submetidas a limpeza. As regras de design para a etapa de limpeza são: (i) desenhos de peças devem proporcionar fácil acesso para reentrâncias, cantos e cavidades ou se deve evitá-los completamente; (ii) as marcações nas peças devem resistir à limpeza; (iii) deve ser exigida a utilização de apenas agentes de limpeza amigáveis ao meio ambiente e de acordo com o que diz as normas ambientais; (iv) superfícies a serem limpas devem ser lisas e resistentes ao desgaste; (v) todos os depósitos de impurezas e outros materiais devem ser removíveis, sem danos para as peças.
- 
-

## De Reutilização

- Deve-se atribuir ao produto propriedades como a facilidade de acesso a peças internas e resistência ao desgaste, importantes para as etapas de limpeza e de remodelação. Em um segundo momento, devem-se priorizar as propriedades de facilidade de identificação, a facilidade de verificação, a facilidade de manuseio e facilidade de separação de peças;
- Componentes e peças devem ser identificadas, principalmente as que serão reutilizadas, pois a falta de identificação dificulta todas as etapas do processo de remanufatura;
- Ao adaptar produtos para remanufatura, observar que aqueles que possuem núcleo que freqüentemente são danificados ou partidos não servem para ser remanufaturados;
- Ao projetar, deve-se consultar a experiência dos técnicos da empresa, estes geralmente sabem que tipos de falhas são comuns a determinados produtos, e assim pode-se calcular o tempo que o produto levará para ser remanufaturado;
- Sugere-se que o produto remanufaturado seja projetado para ser reconstruído com até 85% de componentes reutilizáveis, mas que mantenha uma qualidade comparável ou equivalente ao produto novo;
- Após a limpeza, uma peça pode ser classificada como reutilizável como está, reutilizável após a remodelação, ou inadequada para reutilização. Muitas peças são semelhantes, mas não são exatamente as mesmas, portanto, as preocupações do design são: (i) identificar as peças para facilitar a triagem e a classificação, particularmente as de aparência semelhante; (ii) peças que cumprem a mesma função devem ser idênticas ou ser claramente identificáveis como sendo diferentes.

## De Teste

- Antes de qualquer remodelação a ser feita, é necessário verificar se a peça é necessária e, caso afirmativo, em que medida tem importância para o núcleo. Assim, o design deve: (i) facilitar as operações de verificação de desgaste e de corrosão de peças; (ii) disponibilizar os dados sobre as propriedades dos materiais, os limites de carga, bem como tolerâncias e ajustes.

Os aspectos legais foram inseridos na abordagem, haja vista que a legislação ambiental é uns dos principais fatores que impulsionam a remanufatura.

Em adição as orientações anteriormente listadas, um estudo realizado por Ijomah (2009) apresenta um conjunto de diretrizes em design para remanufatura com o objetivo de auxiliar a tomada de decisões durante a realização do projeto de um produto remanufaturável (Quadro 09).

No Quadro 07, as diretrizes consideram as características técnicas do produto e as etapas principais do processo de remanufatura, relacionadas às considerações ambientais e de segurança. Os tipos de encaixe e de fixadores influenciam diretamente a facilidade de separação de peças, por isso algumas diretrizes foram adicionadas ao quadro com recomendações feitas do DFD (vide Quadro 06). A importância dessa abordagem é comentada por Shu e Flower (1999) que evidenciam a necessidade de diretrizes de design que incluem recomendações específicas sobre os métodos de fixação entre peças.

Atividades do processo de remanufatura	CARACTERÍSTICAS DE DESIGN/PRODUTO	
	Estrutura do produto	Considerações ambientais/segurança
<b>Inspecção do produto</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilizar estrutura para facilitar uma eficiente e eficaz inspeção.</li> <li>- Identificar claramente nos produtos detalhes técnicos, por exemplo, marca modelo e ano de fabricação, etc.</li> <li>- <b>facilitar as operações de verificação de desgaste e de corrosão de peças.</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Usar materiais não perigosos.</li> <li>- Usar materiais ambientalmente amigáveis.</li> <li>- Usar técnicas de montagem ambientalmente amigáveis</li> </ul>
<b>Limpeza do produto</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Garantir o acesso fácil a todas as áreas a serem limpas.</li> <li>- <b>Evitar bordas afiadas e cavidades que possam acumular sujeiras.</b></li> <li>- Garantir a facilidade de manuseio reduzindo o peso do produto, procurando manter a funcionalidade e a durabilidade necessárias.</li> <li>- Fornecer alças se o produto é pesado ou volumoso.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Evitar usar agentes de limpeza perigosos ou proibidos.</li> <li>- Usar agentes de limpeza ambientalmente amigáveis</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Assegurar que marcas sobre o produto podem suportar limpeza.</li> </ul>	
<b>Desmontagem do produto</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reduzir o número total de peças.</li> <li>- Reduzir a complexidade da desmontagem, unificando os fixadores.</li> <li>- Usar componentes modulares, com separação de funções, reduzindo a complexidade da desmontagem e os tipos de técnicas de montagem.</li> <li>- Organizar os componentes de modo que as juntas de separação sejam facilmente acessíveis e identificáveis.</li> <li>- Minimizar o número de juntas.</li> <li>- Reduzir / eliminar partes redundantes.</li> <li>- Simplificar e uniformizar componente de encaixe. -</li> <li><b>Identificar as peças para facilitar a triagem e a classificação, particularmente as de aparência semelhante;</b></li> <li><b>- Peças que cumprem a mesma função devem ser idênticas ou ser claramente identificáveis como sendo diferentes.</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- O processo de desmontagem não deve exigir a utilização de substâncias perigosas.</li> <li>- Usar um método de desmontagem e substâncias amigáveis ao meio ambiente.</li> <li>- Considere no design para a desmontagem técnicas que não impediriam a remontagem.</li> <li><b>- Considere recomendações ergonômicas para a desmontagem dos produtos que geralmente é feita de forma manual.</b></li> </ul>
<b>Tipos de componentes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reduzir / eliminar peças redundantes limitando assim tempo e gastos - Limitar o uso de peças redundante.</li> <li>- Utilizar componentes padronizados para limitar a complexidade da triagem e identificar o destino de peças em fim de vida.</li> <li>- Reduzir o número de peças.</li> <li>- Reduzir o peso unitário.</li> <li>- Fornecer alças para peças pesadas, difíceis de manusear.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Usar componentes reutilizáveis</li> <li>- Assegure-se que as peças que não são possíveis de remanufatura, sejam recondiçionadas ou reparadas ou na pior das hipóteses sejam recicladas</li> </ul>

<b>Limpeza de componentes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Assegurar que todas as peças a serem limpas são facilmente acessadas.</li> <li>- Reduzir/eliminar partes redundantes.</li> <li>- Organizar os componentes para que todos possam ser acessados para uma limpeza eficaz.</li> <li>- Certificar-se que as superfícies do produto são lisas e resistentes ao desgaste.</li> <li>- <b>Evitar ranhuras afiadas ou cavidades que são difíceis de limpar.</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Não use produtos químicos de limpeza proibidos.</li> <li>- Use agentes e procedimentos de limpeza amigáveis ao meio ambiente</li> </ul>
<b>Remanufatura r/ substituir componentes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reduzir / eliminar partes redundantes.</li> <li>- Estrutura para facilidade de atualização do produto.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Certifique-se da substituição de componente não remanufaturável por pelo menos reciclável.</li> </ul>
<b>Testes de componentes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Organizar os componentes de modo que as peças propensas a danos são facilmente acessíveis.</li> <li>- Usar peças normatizadas.</li> <li>- Usar estrutura para garantir a facilidade na determinação da condição do componente.</li> <li>- A estrutura do componente deve ser tal que o teste seja seqüencial na ordem em que o produto é remontado.</li> <li>- Minimizar o nível de desmontagem necessária para testar componentes.</li> <li>- Reduzir a complexidade de teste.</li> <li>- Identificar claramente os limites de carga, tolerância e ajustes do componente.</li> <li>- Padronizar os testes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Usar métodos e procedimentos de teste ambientalmente amigáveis.</li> <li>- Limitar os recursos utilizados no teste, por exemplo, energia, eletricidade, água, etc.</li> </ul>
<b>Tipos de fixadores e encaixes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Evitar molduras de metal ou reforços em peças plásticas.</b></li> <li>- Localize peças de maior valor em locais de fácil acesso.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Muitos adesivos causam contaminação ao material.</li> <li>- <b>Elementos flexíveis como fios e cabos são lentos para remover e o cobre contamina o aço e outros metais.</b></li> </ul>

<b>Inspeção do produto</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Usar materiais que irão sobreviver ao processo de inspeção.</li> <li>- Identificar claramente os materiais do produto.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilizar técnicas de montagem que permitam fácil acesso aos pontos de controle.</li> <li>Garantir que os métodos de montagem e a posição de juntas não escondem detalhes do produto.</li> </ul>
<b>Limpeza do produto</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Usar materiais que irão sobreviver ao processo de limpeza.</li> <li>- Usar materiais duráveis para os métodos de identificação, por exemplo, evitar o uso de etiquetas pois podem soltar-se durante a limpeza.</li> <li>- Evitar materiais que são difíceis de limpar.</li> <li>- Minimizar o número de diferentes materiais utilizados no produto, isto limita o uso da variedade de agentes de limpeza.</li> <li>- Usar material de fácil limpeza evitando deixar resíduos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Usar técnica de montagem que suporta o processo de limpeza, e que permita a desmontagem sem danificar os componentes com potencial para reutilização.</li> </ul>
<b>Desmontagem do produto</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Para os componentes destinados a reutilização, garantir que os seus materiais são suficientemente resistentes para sobreviver a desmontagem.</li> <li>- Assegurar que os materiais dos fixadores são semelhantes ou compatíveis com o material da base, limitando danos às peças durante a desmontagem.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Usar métodos de montagem que permitem a desmontagem sem danos aos componentes.</li> <li><b>- Dispor em subconjuntos para fácil desmontagem;</b></li> <li><b>- Usar tipos de fixadores e juntas que são fáceis de separar;</b></li> <li><b>- As juntas devem ter expectativa de vida igual ao produto inteiro.</b></li> </ul>
<b>Tipos de componentes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identificar os componentes de materiais similares.</li> <li>- Minimizar o número de diferentes materiais utilizados nas peças facilitando a triagem de componentes.</li> <li>- Limitar o número de tipo de material por peça para reduzir</li> </ul>	

	<p>a complexidade de triagem.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Identificar as peças que necessitem de limpeza ou modos de processamento semelhantes.</li> </ul>	
<b>Limpeza de componentes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Usar o material resistente ao processo de limpeza.</li> <li>- Agrupar todos os componentes que necessitam de agentes de limpeza e procedimentos similares. Por exemplo, limitar o número de tipos de material por peça.</li> <li>- Identificar os componentes que requerem agentes e procedimentos de limpeza semelhantes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Usar métodos de montagem que permitem desmontagem, pelo menos, a tal ponto que componentes internos possam ser acessados para limpeza</li> </ul>
<b>Remanufatura r/ substituir componentes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Usar materiais que são pelo menos durável o suficiente para sobreviver ao processo de renovação.</li> <li>- Usar materiais que não impeçam atualização e reconstrução do produto.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Usar métodos de montagem que permitem a desmontagem, e que os componentes internos e subsistemas que requerem trabalho possam ser acessados.</li> <li>- Usar métodos de montagem que não impedem a atualização do produto.</li> </ul>
<b>Testes de componentes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identificar o material do componente.</li> <li>- <b>disponibilizar os dados sobre as propriedades dos materiais, os limites de carga, bem como tolerâncias e ajustes.</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilizar métodos que permitam a desmontagem de juntas, pelo menos até o ponto em que os componentes internos e subsistemas possam ser acessados para testes antes e depois da remodelação.</li> <li>- Usar entrada de dispositivo de detecção de falhas.</li> </ul>
<b>Tipos de fixadores e encaixes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tentar utilizar fixadores de material compatível com as peças conectadas.</li> <li>- <b>Elimine adesivos, exceto aqueles compatíveis com ambas as peças unidas.</b></li> <li>- Usar materiais resistentes a corrosão.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pontos de fixação devem ser de fácil acesso, pois movimentos incômodos aumentam o tempo na desmontagem manual.</li> <li>- Minimizar o número de elementos de fixação.</li> <li>- <b>Minimizar o número e o comprimento de fios e cabos de interconexão utilizados.</b></li> </ul>

Quadro 07: Diretrizes de Design para o DFRem.

Fonte: Adaptado de Ijomah (2009).

A partir do Quadro 07 foram acrescentadas outras diretrizes para tornar as orientações apresentadas pelo autor mais abrangentes, estas se encontram em negrito. Acredita-se que essas são diretrizes e orientações capazes de facilitar o processo de remanufatura e nortear a atividade de concepção de produtos remanufaturáveis.

Após relacionar algumas diretrizes que podem orientar as equipes desenvolvedoras a realizar o DFRem, a seguir se discute os métodos e ferramentas do DFRem, a fim de conhecer e analisar os aspectos de remanufatura relacionados ao processo de design de produtos que resultam fundamentais para a discussão desta tese.

### **3.4.1 Métodos e ferramentas de DFRem**

Ao longo deste item se encontra diferentes recomendações, métodos e ferramentas que buscam facilitar o processo de remanufatura e melhorar a remanufaturabilidade dos produtos. Algumas buscam identificar as características do produto remanufaturável por meio de estudo de casos industriais com empresas remanufatureiras (SUNDIN e LINDAHL, 2008; SUNDIN; LINDAHL; IJOMAH, 2009; ARMACOST et al, 1999; BERKO-BOATENG et al, 1993), outras por meio da prática de desmontagem e remontagem de produtos, a fim de medir o seu grau de remanufaturabilidade e obter parâmetros para o desenvolvimento do produto remanufaturável (AMEZQUITA et al, 1995; IJOMAH et al, 2007).

Zwolinski e Brissaud (2008) propõem o uso de uma ferramenta computacional como forma de gerenciar a grande variedade de requisitos e informações necessárias para avaliar um produto remanufaturável. Mas o ponto comum observado entre os pesquisadores diz respeito à necessidade de definir e identificar características técnicas de remanufaturabilidade dos produtos para serem utilizadas como orientações gerais em design de produtos.

Pigosso et al (2010) após analisar cinco métodos de design focados nas estratégias de fim de vida de produtos ambientais, dentre as quais está a remanufatura, apresentam métodos que propõem ajudar na definição de uma seqüência ideal de desmontagem e na avaliação do design de um produto para considerar seus aspectos críticos de fim de vida objetivando propor melhorias no projeto.

Deste modo, não foram encontrados na bibliografia disponível métodos ou processos específicos para o desenvolvimento de produtos

para remanufatura. A maioria das pesquisas centra-se em encontrar métricas qualitativas (HAMMOND et al, 1998; AMEZQUITA et al, 1995), ou quantitativas (PIGOSSO et al, 2010; HAMMOND e BRAS, 1996; SHU e FLOWER, 1999; BRAS e HAMMOND, 1996), para auxiliar designers e equipes de projeto na tomada de decisão na hora de projetar para remanufatura.

A seguir, apresentam-se as pesquisas e estudos relacionados, a partir da perspectiva do processo de remanufatura e do desenvolvimento de produtos.

### 3.4.1.1 Requisitos de Design para Remanufatura

Amezquita et al (1995), apresenta uma lista de requisitos de design para ser utilizada no design de peças e produtos remanufaturáveis. O método utilizado para desenvolver os requisitos foi baseado em um procedimento proposto por Pahl e Beitz que sugerem a criação de uma lista de requisitos entre obrigatórios e desejáveis. Os requisitos são divididos em várias categorias principais. Em cada categoria principal existem diferentes subcategorias. Cada uma das subcategorias tem uma breve descrição das especificações mínimas. Esses critérios foram identificados a partir do estudo feito em uma porta de automóvel em que se buscava facilitar sua remanufatura, como mostra o Quadro 08. Em ‘O’ são definidos os requisitos que devem ser cumpridos em todas as circunstâncias e ‘D’ os requisitos que devem ser levados em consideração sempre que possível.

<b>REQUISITOS PARA UMA PORTA DE AUTOMÓVEL</b>	
(O = requisitos obrigatórios, D = requisitos desejáveis)	
<b>1. Materiais</b>	
D	Todos os materiais devem ser recicláveis
D	Sem aumento substancial nos custos dos materiais
O	Deve ser resistente à corrosão
O	Deve ser durável
O	Facilmente renovável (polimento)
D	Peso leve
D	Métodos ambientalmente benignos
O	Robusto o suficiente para reutilização sem substituição
D	Utilizar materiais reciclados
O	Evite materiais tóxicos
O	Use acabamentos secundário, como pintura, revestimento, etc
D	Manter claro um fim secundário
<b>2. Métodos de montagem</b>	
D	Menos complexos do que os métodos existentes
D	Mais rápido do que os métodos existentes

D	Método comum para diversos estilos
O	Utilize métodos de Design para Montagem - DFA
D	Reduza número de componentes
	<b>3. Fixadores</b>
O	Deve ser resistente à corrosão
O	Deve ser durável
O	Deve ser reutilizável
O	Não utilize parafuso com cabeças que podem ser facilmente danificados
D	(por exemplo, Torx, Phillips, etc.)
O	Usar fixadores padrão
	<b>4. Design para Desmontagem - DFD</b>
O	Escolha uniões que são fáceis de desmontar
O	Simplificar e padronizar componente e encaixe
D	Identificar separação e juntas
D	Faça adesivos solúveis seguros
D	Layout de peças plásticas com maior nível de seqüência de desmontagem
O	Forneça "facilidade de acesso" para a desmontagem
O	Proporcionar acesso à operação com ferramenta elétrica
	<b>5. Limpeza</b>
O	Componentes fáceis de manusear e limpar
D	Não utilizar ranhuras afiadas ou cavidades que são difíceis de limpar
	<b>6. Peças de Substituição</b>
O	Faça peças sensíveis à quebra fáceis de substituir
D	Faça peças sensíveis à quebra separadas de outras peças
	<b>7. Componentes modulares</b>
O	Interfaces normatizadas
O	Uso de peças comuns / padronização de peças
	<b>8. Design para Recuperação</b>
O	As peças devem ser de alta qualidade e duradouras
D	As peças devem ser fáceis de remover, mas não para roubar

Quadro 08 : Especificações de Design para Remanufatura

Fonte: Adaptado de Amezquita et al (1995).

As características identificadas no Quadro 08 podem servir de apoio a tomada de decisão durante o processo de desenvolvimento de produtos para remanufatura. Ao fazer isso, se obteria meios para selecionar qual seria o conceito do produto mais remanufaturável e quais as mudanças que poderiam ser feitas a fim de aumentar a sua remanufaturabilidade.

Apresenta como desvantagem: Não oferece parâmetros quantitativos sobre as especificações técnicas descritas, ficando sob a

responsabilidade do projetista à mensuração dos dados necessários ao processo de projeto. É aplicável somente a fase do projeto conceitual.

#### 3.4.1.2 Características de design que dificultam e que auxiliam a remanufatura

Ijomah et al (2007) abordam as questões relacionadas às barreiras para a remanufatura, descrevendo o seu domínio e buscando diferenciá-la de reparo e recondicionamento. Apresentam os resultados de workshops realizados no Reino Unido que objetivou explorar as diferentes características de design que dificultam e que auxiliam a remanufatura.

As oficinas de trabalho foram realizadas entre designers e engenheiros do meio industrial e acadêmico, divididos em grupos para reflexão, discussão e prática de desmontagem do produto. Os objetivos desses grupos eram identificar os principais fatores que influenciam a remanufaturabilidade do produto a fim de listar as suas características mais significativas, e alinhar os seus recursos com as atividades do processo de remanufatura. Os resultados desta oficina indicaram que uma questão fundamental em design de produtos para Remanufatura é evitar características que impeçam o retorno do produto ou componente ao estado de funcionalidade, estes incluem:

- Uso de material não-durável;
- Tecnologias de união que impeçam a separação dos componentes;
- Características que impedem ou desencorajam atualizações;
- Características que podem fazer regressar o produto com uma funcionalidade nova de custo muito elevado para remanufaturar.

As principais barreiras encontradas à remanufatura foram: (i) dificuldade da aceitação do produto remanufaturado; (ii) a escassez de ferramentas e técnicas de remanufatura; (iii) a pobre remanufaturabilidade de muitos produtos atuais; (iv) a escassez de conhecimento sobre remanufatura; (v) a ambigüidade de sua definição que muitas vezes é confundida com reparação e recondicionamento. Em consequência dessa problemática, muitos clientes não têm certeza da qualidade dos produtos remanufaturados e desconfiam de comprá-los.

No entanto, no que tange aos objetivos desta pesquisa, o estudo apresentado por Ijomah et al (2007) apresenta algumas desvantagens, quais sejam: Subjetividade, não apresenta detalhamento e/ou especificações das características que dificultam o retorno ao estado

funcional do produto ou peça, bem como é de difícil aplicação para a tomada de decisão durante o design de produtos para remanufatura.

#### 3.4.1.3 Custo da Remanufatura em relação a outras estratégias de fim de vida do produto.

Shu e Flowers (1995) enfatizam a remanufatura como estratégia de fim de vida e estuda os efeitos dos métodos utilizados para unir e fixar peças que podem facilitar a montagem e a reciclagem, mas que podem impedir a remanufatura. O impacto da escolha do tipo de fixações de peças em relação às outras preocupações do ciclo de vida foi medida com o uso de um software que calcula o efeito das escolhas sobre a fabricação, montagem, manutenção, remanufatura e reciclagem, e compara o método de fixação que é usado no produto estudado com outro método alternativo.

Método	Vida 1	Vida 2	Primeira vida	Reman.	Recic.
Parafuso	15,87	29,52	1,81	13,65	0,41
Parafuso e encaixe	6,87	8,87	4,05	2,00	0,82

Quadro 09: Estimativas de custo da remanufatura com base nos tipos de fixadores sobre o ciclo de vida do produto

Fonte: Shu e Flowers, 1995

No exemplo, a primeira coluna contém o custo estimado de vida do produto que foi remanufaturado uma vez, e a segunda, contém o custo estimado de vida do produto remanufaturado duas vezes. O custo estimado compara o uso de parafuso sem encaixe com o uso concomitante de parafuso e encaixe, este último com redução de parafusos e normalizado de acordo com os custos de compra, instalação e uso adequados. O estudo mostrou que o tipo de fixação aumenta o custo da primeira vida do produto e da reciclagem, mas o custo diminui se o produto for remanufaturado. Como resultado, o estudo ilustra que os tipos de união entre peças que foram projetados para facilitar a montagem e a reciclagem não necessariamente facilitaram a remanufatura, com grande probabilidade de ocorrer danos durante a desmontagem e a remontagem em decorrência do tipo de fixadores. Esta comparação sugere também que elementos de fixação que são propensos à falha sejam separados do restante da peça.

Como desvantagem o estudo não inclui os custos de manutenção, porque as conexões utilizadas pelas autoras para o estudo não eram desmontadas para esta tarefa, inclui apenas as despesas diretamente resultantes da escolha do tipo de fixadores e, não sendo também,

aplicável ao processo de design de produtos. No entanto, apresenta importante parâmetro quando aponta a importância da seleção correta dos modos de fixação entre peças, que apesar do aumento dos custos na primeira fabricação, é justificado o investimento na medida em que oferece melhores condições para desmontagem e remontagem do produto para a remanufatura.

#### 3.4.1.4 Remanufatura e métodos DFX

Em outro estudo Shu e Flowers (1999) propõem uma forma de projetar produtos para facilitar a remanufatura com a aplicação conjunta de outros métodos de DFX, apontando algumas prioridades de design a considerar em cada uma dessas metodologias (Quadro 10).

<b>Design for</b>	<b>Prioridades</b>	<b>Exemplos de orientações gerais</b>
<i>Assembly</i>	Minimizar o esforço para a montagem	Minimizar peças para serem montadas Facilitar a montagem de cada peça
<i>Scrap-material recycling</i>	Minimizar o esforço para separar materiais para reciclagem	Minimizar o número de materiais Minimizar o tempo necessário para a separação de material
<i>Remanufacture</i>	Minimizar os danos às peças para serem reutilizadas	Isolar danos esperados às peças removíveis e substituíveis
<i>Maintenance</i>	Minimizar o tempo de máquina	Facilitar o acesso, diagnóstico e correção de falhas potenciais

Quadro 10: Prioridades de algumas metodologias DFX

Fonte: Adaptado de Shu e Flowers (1999)

No estudo, a maioria dos aspectos essenciais do Design for Remanufacture entrou em conflito com outras metodologias do DFX, particularmente com o Design for Assembly e Design for Recycling, segundo essas autoras, mesmo assim é difícil promover o DFR em isoladamente de outras considerações de DFX. Além disso, a aplicação cega de qualquer DFX isoladamente, incluindo o Design for Assembly, é considerada problemática.

Para Shu e Flowers (1999) a aplicação de qualquer DFX que facilita a remanufatura irá facilitar também seu processo, ou seja, as etapas de desmontagem, seleção, limpeza, remodelação, montagem e avaliação. Exemplos de recomendações de design que favorecem o processo de remanufatura são apresentados no Quadro 11.

PROCESSO	EXEMPLOS DE DICAS DE DESIGN	RAZÕES PARA DICAS DE DESIGN
Transporte	Evitar saliências exteriores dos volumes geométricos regulares	Minimizar os danos de transporte Facilitar o empilhamento durante o armazenamento
Desmontagem	Reduzir a quantidade e variedade de parafusos Usar fixadores padrão	Reduzir as ferramentas necessárias para a desmontagem Reduzir o tempo de desmontagem
Seleção	Usar peças idênticas ou claramente desiguais	Reduzir o esforço necessário para discernir peças e partes
Limpeza	Evitar geometrias que acumule sujeira, como ranhuras e cavidades Usar material adequado, textura e cor	Melhorar o acesso à limpeza dos utensílios e fluidos Reduzir a aparência de sujeira e danos sofridos durante a limpeza
Avaliação	Indicar com precisão e explicitamente a vida útil restante de peças e partes	Reduzir o esforço necessário para avaliar a reutilização de peças e partes
Remodelação	Design de peças que nunca falham; ou concentrar antecipadamente o desgaste e falha em peças removíveis e substituíveis	Reduzir necessidades de mão-de-obra ou de capital para a remodelação

Quadro 11: Design do produto para facilitar as etapas de remanufatura

Fonte: Adaptado de Shu e Flowers (1999)

Considerando o Quadro 11, é possível justificar modificações necessárias no projeto e conceber produtos duráveis sem incorrer em desperdício de recursos, incorporando algumas propriedades duráveis que facilitam a remanufatura. Para isso, os autores aconselham concentrar o desgaste e antecipar a falha em peças removíveis, que também é uma maneira de facilitar a remodelação ou renovação de peças. Os exemplos da contribuição do design para as etapas desse processo são descritos abaixo:

**Transporte** - os produtos devem ser projetados para minimizar os danos ocorridos durante seu transporte. Por exemplo, produtos de grande porte deverão assegurar apoio suficiente na parte inferior. Além disso, os módulos de volume regular geométrico, um bloco retangular,

por exemplo, tendem a ficar danificados durante o transporte e podem dificultar o empilhamento eficiente durante o armazenamento.

**Desmontagem** - existe uma abundância de orientações de design que visam facilitar a desmontagem dos produtos. As recomendações incluem reduzir a quantidade e variedade dos métodos de fixação, usar juntas padrão e evitar longos caminhos de acesso a peças para desmontagem. Muitas orientações de design para desmontagem, como as que facilitam o manuseio e acesso a peças, são benéficas não só para a montagem, mas também para a desmontagem.

**Seleção** - para facilitar a classificação de peças após a desmontagem é recomendado o uso de peça idêntica ou muito diferentes, cujos esforços não sejam gastos em discernir diferenças sutis. Pode-se usar, por exemplo, um sistema de codificação de cores para diferenciar peças feitas a partir diferentes tipos de plásticos. Na remanufatura de peças de reposição automotivas muitos dos componentes são limpos antes de serem identificados com precisão.

**Limpeza** – freqüentemente é o mais trabalhoso do processo de remanufatura. Uma melhoria na eficiência desta etapa do processo pode aumentar significativamente a rentabilidade de toda a remanufatura, sendo a acessibilidade à peça como fator chave na determinação da facilidade de limpeza. Nos casos de métodos de limpeza com água ou solvente que usam o movimento do fluido ou uma escova para ajudar a remover a sujeira, devem ser evitadas geometrias como ranhuras afiadas e cavidades profundas, pois acumulam sujeira. O solvente é selecionado com base nos materiais, mas está sujeito as normas ambientais sobre as condições de sua eliminação no meio ambiente e, também, as questões de saúde como os efeitos de odores e da exposição prolongada dos vapores em seres humanos. Para componentes externos são preferidas características de superfície, como textura e cor, que não necessitam de limpeza freqüente ou extensiva. Uma superfície muito lisa é facilmente marcada, o que pode implicar em grandes esforços em restauração para deixá-la como nova.

**Avaliação** – é um componente crítico no processo de remanufatura. Se o critério de avaliação é muito elevado, as partes potencialmente utilizáveis podem ser descartadas e, se for muito baixa, as peças poderão falhar prematuramente. Os procedimentos de avaliação podem variar de objetivos e de fácil execução a subjetivos ou inexistentes. Uma pessoa experiente pode ser obrigada a tomar decisões subjetivas quando o processo de avaliação não está bem definido. Um

componente projetado para indicar explicitamente sua vida útil remanescente, reduziria a subjetividade do processo.

**Remodelação** – Para permitir a reutilização, os componentes podem ser projetados para maior durabilidade, resistentes ao desgaste e a falhas.

Shu e Flowers (1999) esclarecem que peças mais resistentes também sofrem menos danos durante o uso do produto e nas etapas de remanufatura, incluindo a remodelação. O investimento de recursos na produção do componente original de material mais robusto ajuda a justificar os recursos adicionais necessários para recuperar uma peça desgastada. Por outro lado, os autores argumentam que existe pouco incentivo para recuperar uma peça barata que está muito gasta, assim, a menos que a peça seja renovada com recursos adicionais, ela não será recuperada.

Observa-se que o estudo apresenta como vantagem a relação que faz das recomendações de design com as etapas do processo de remanufatura, especificando as restrições e os benefícios a obter em cada uma delas. No entanto, necessita de maiores esclarecimentos para o seu uso durante o design do produto remanufaturável, pois não especifica o momento do processo de design, ou fases do processo, em que tais recomendações devem ser utilizadas e como devem ser utilizadas.

#### 3.4.1.5 End-of-Life Design Advisor – ELDA

Rose; Beiter; Ishii (1999) propõem estratégias para o fim de vida de produtos (reutilização, reciclagem, remanufatura e recuperação) visando a eco-eficiência de produtos. Por meio do estudo de sete características comuns em 37 produtos, os autores identificaram as melhores práticas das estratégias de fim de vida utilizadas pela indústria. Categorizaram-nas por agentes externos, material, desmontagem, e cadeia inversa de abastecimento, que culminou na ferramenta chamada End-of-Life Design Advisor – ELDA, desenvolvida para ser usada na fase inicial do processo de design para traçar estratégias de fim de vida fundamentadas nas características técnicas dos produtos para eco-eficiência, em que se inclui a remanufatura.

É uma ferramenta baseada na web para avaliação das estratégias de fim de vida do produto, que faz uma comparação entre as características que serão introduzidas no produto com as características de produtos existentes. Essas características incluem: tamanho, número e tipo de juntas e fixadores entre as peças; número de diferentes

materiais; número de módulos; nível de limpeza; nível de perigos; desgaste; ciclo de design; ciclo de tecnologia; ciclo de recompra; motivo de obsolescência e complexidade funcional.

Como resultado a pesquisa mostrou que o número de funções, nível de integração, o número de peças, o nível de limpeza, o ciclo da tecnologia e número de materiais influenciam fortemente as estratégias de fim de vida. Como vantagem o End-of-Life Design Advisor ajuda as equipes de desenvolvimento a avaliar as implicações ambientais de suas decisões para determinar estratégias de fim de vida, auxiliando a tomada de decisão quanto a definição do produto.

#### 3.4.1.6 PSS e Remanufatura

O sistema produto/serviço (*Product Sistem Service – PSS*) é um segmento de negócio que agrega valor aos produtos de diversas maneiras, incluindo, melhorias tecnológicas, propriedade intelectual, imagem do produto, marcas e design enquanto estética e estilo. Estes aspectos ajudam os fabricantes a diferenciar e diversificar seus produtos para melhor responder às exigências dos clientes (LINDAHL *et al*, 2006a). Neste sistema, o produto permanece sob a propriedade do produtor. O foco principal não é na produção de novos produtos, mas na mudança do paradigma de venda do produto para a venda do serviço realizado pelo produto (LINDAHL *et al*, 2006b). Um exemplo de uma oferta em PSS descrito por Sundin; Lindahl; Ijomah (2009) é quando uma empresa fornece a função de lavar roupa em vez da máquina de lavar, paga-se apenas pelo número de lavagem em vez de se comprar a máquina.

No exemplo anterior, os autores também apresentam uma perspectiva do PSS aliada ao conceito de remanufatura, e vice-versa, como uma nova maneira de olhar para estas estratégias quando trabalhadas juntas.

Segundo essa idéia, o produto com a finalidade de PSS permite que a empresa faça o seu acompanhamento para saber como ele se comportou ao longo do seu ciclo de vida, e se ainda o produto é devolvido ao fabricante para remanufaturar, é possível avaliar como foi o seu desempenho e saber o que precisa ser melhorado, descobrir erros de projeto e obter um melhor conhecimento de como o produto é utilizado. Portanto, os produtos para PSS são mais favoráveis à remanufatura.

Assim, Sundin e Lindahl (2008) buscaram esclarecer em que medida diferentes produtos (elétricos e eletrônicos) poderiam ser

adaptados para PSS tendo a remanufatura como apoio essencial a essa estratégia. As características de acessibilidade, durabilidade, habilidade para desmontagem e controle de peças, foram utilizadas para orientações gerais em design de produtos. Nesse estudo uma matriz chamada *Remanufacturing Property Matrix – RemPro*, desenvolvida em uma pesquisa anterior realizada por Sundin (2004), foi utilizada para avaliar as diferentes propriedades adequadas às etapas de remanufatura, a saber: inspeção, limpeza, desmontagem, armazenagem, reprocessamento (remodelação), remontagem e teste. Depois de estabelecer qual estágio do processo de remanufatura é um problema para um determinado produto, a matriz pode ser usada como um guia para indicar as características do produto que poderiam ser melhoradas pelo projeto. Esse conhecimento permite também que se realizem melhoras nos produtos para reduzir a necessidade de manutenção durante toda a fase de uso em PSS.

No Quadro 12, cada propriedade do produto pode relacionar-se com uma ou mais etapas do processo de remanufatura. Por exemplo, a facilidade de identificação dos componentes está relacionada a etapa de inspeção, desmontagem, armazenagem e teste, enquanto a facilidade de manuseio se relaciona com desmontagem, armazenagem e remontagem.

PROPRIEDADE DO PRODUTO	ETAPAS DE REMANUFATURA						
	Inspeção	Limpeza	Desmontagem	Armazenagem	Reprocesso	Remontagem	Testes
Facilidade de identificação	X		X	X			X
Facilidade de verificação	X						
Facilidade de acesso	X	X	X		X		X
Facilidade de manuseio			X	X	X	X	
Facilidade de separação			X		X		
Facilidade de segurança						X	
Facilidade de alinhamento						X	
Facilidade de empilhamento				X			
Resistência ao desgaste		X	X		X	X	

Quadro 12: Matriz RemPro

Fonte: Adaptado de Sundin (2004).

A matriz mostra que, para facilitar a remanufatura, o design deve favorecer o desenvolvimento de produtos com propriedades de

facilidade de acesso e resistência ao desgaste, uma vez que estes são importantes para as etapas de limpeza e reprocessamento. A matriz mostra também que as equipes de desenvolvimento de produtos devem priorizar as propriedades de facilidade de identificação, de verificação, de manuseio e de separação, pois essas propriedades também são incluídas como preferível para as etapas cruciais do processo.

Mediante as análises realizadas, conclui-se que o PSS é um caminho para a remanufatura viável, uma vez que se tem a possibilidade de controlar alguns problemas amplamente comentados por vários autores com: (i) a imprevisibilidade da qualidade do núcleo e do seu retorno; (ii) a definição do momento certo para o retorno do produto ao remanufaturador, e; (iii) o prolongamento da vida útil do produto.

#### 3.4.1.7 QFD como apoio ao DFRem

Armacost; Balakrishnan; Pet-Armacost (1999) propõem o uso do Desdobramento da Função Qualidade (Quality Function Deployment - QFD) como apoio específico para melhorar o design de produtos para remanufatura. O QFD é ferramenta que estabelece uma relação entre as necessidades do cliente e os requisitos de projeto possibilitando a identificação das características dos atributos de qualidade do produto e, no estudo realizado pelos autores, é apresentado um quadro geral que incorpora as preocupações do processo de remanufatura para orientar o processo de design.

A partir de um conjunto abrangente de necessidades dos clientes (empresas remanufatureiras), Armacost; Balakrishnan; Pet-Armacost (1999) apresentam propostas dos requisitos que um produto deve ter para ser facilmente remanufaturado. Estes requisitos foram transformados em características técnicas de engenharia que são aquelas que devem cumprir os critérios de remanufatura. Na Figura 14 são ilustrados os componentes da matriz de relacionamento entre os requisitos do cliente e as características de engenharia que fornecem os requisitos técnicos.

Esta representação gráfica é a primeira matriz do QFD e é chamada de Casa da Qualidade (House Of Quality – HOQ.)

Os requisitos do cliente são identificados e valores de importância são atribuídos para cada um deles. Uma escala elementar de cinco pontos é utilizada para estimar a relação entre requisitos técnicos e as exigências do cliente.

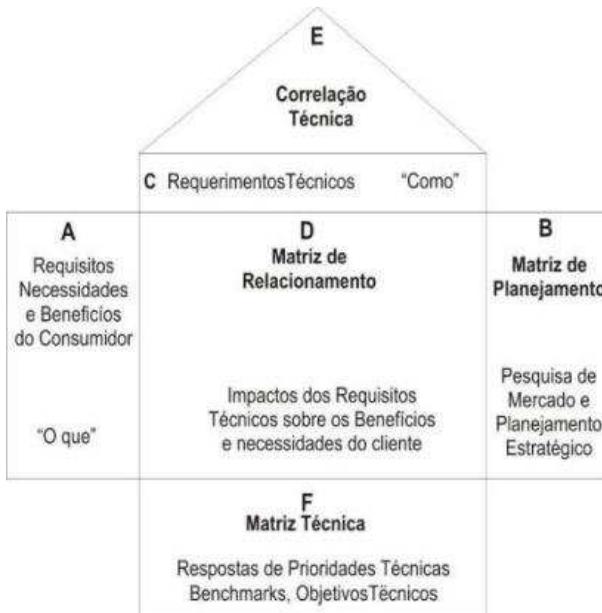


Figura 14: Relações da Casa da Qualidade

Fonte: Adaptado de Armacost; Balakrishnan; Pet-Armacost (1999).

Os requisitos técnicos (características de engenharia e requisitos de design) são identificados e os valores são estimados, equacionando a contribuição relativa de cada uma das exigências técnicas para cada um dos requisitos do cliente. Com o desenvolvimento da matriz, a importância absoluta é determinada usando os valores de contribuição ponderada para cada um dos requisitos do projeto. Os requisitos de projeto com importância absoluta são prioritários para o desenvolvedor do produto.

Como exemplo os autores aplicam a matriz para o redesign do motor de arranque de um automóvel (Figura 15).

A matriz não inclui todos os requisitos do cliente nem o conjunto completo de características de engenharia, limita-se, ainda, às exigências de empresas remanufatureiras e aos requisitos técnicos. Contudo, o QFD é uma metodologia capaz de apoiar a tradução dos requisitos dos clientes em características técnicas específicas de engenharia, o que facilita a identificação dos requisitos de design para remanufatura.

Requisitos do Consumidor "O que"		Requerimentos Técnicos "Como"												
		Importância (1-5)	Especificação de design detalhado	Design Modular	Material de limpeza/Material composto	Inspeção Técnica Automatiz/Manual	Banco de dados de conhecimentos	Otimização de fixadores	Guia de montagem (visual/toque)	Medidas de confiabilidade	Medidas de confiabilidade	Medidas de segurança	Processo de limpeza	Processo de manufatura
Avaliação		4	4			4				2		2		
Fácil desmontagem		5		4				4	4					
Limpeza		5		3	5								5	
Fácil inspeção		3		3	3	4					2		2	
Avaliação dos danos operacionais		4	3			4	4			3	3			
Identificação da variação normal		3	2			5	2							
Remanufatura/Serviço		4	4		3		3					3		5
Rotina de Montagem		4		3			2	4	5					
Embalagem		3						3						
Testes		3								4	4	4		
Importância Absoluta			50	56	46	59	42	45	40	32	30	32	31	20

Figura 15: HOQ para DFRem de um motor de arranque

Fonte: Adaptado de Armacost; Balakrishnan; Pet-Armacost (1999).

Outro estudo que faz uso do QFD é apresentado por Puglieri (2009) que propõe auxiliar designers no processo de desenvolvimento de produtos para a remanufatura. Fazendo uso da matriz RemPro desenvolvida por Sundin (2004), o autor relacionou as características desejadas para os produtos remanufaturáveis com as etapas do processo de remanufatura, estabelecendo este procedimento como uma primeira etapa a ser cumprida. Essas propriedades foram inseridas na matriz QFD relacionando com as métricas de engenharia do produto. O método proposto é dividido em duas fases. A fase 1 consiste em desdobrar os requisitos de remanufatura (propriedades do produto) em métricas de engenharia (Figura 16).

Cada propriedade do produto se relaciona com cada métrica de engenharia, distribuindo-se pontos variando entre 9, 3 e 1 conforme se verifica a relações entre elas. O cálculo do peso bruto e relativo torna possível verificar quais as características de engenharia devem ser mais desenvolvidas para a remanufatura do produto estudado.

QFD para remanufatura - Fase 1		Métricas de Engenharia						
		Peso	Volume	Nº de partes	Nº de tipos de materiais combinados	Sistema modular	Durabilidade dos componentes	Toxidade dos materiais
Propriedades do produto								
Fácil acesso ao produto remanufaturável		9	3				3	
Fácil de desmontar		3	3		3	9	1	3
Fácil de limpar				9				
Fácil de identificar					9			
Fácil de manusear		3	3		9			9
Fácil de separar os componentes					9	9		
Fácil de remontar				9				
Fácil de estocar/armazenar			9	9		9		3
Resistência ao desgaste							9	
	Pontuação bruta	15	24	36	30	27	13	15
	Peso relativo	0,094	0,150	0,225	0,188	0,169	0,081	0,094

Figura 16: Fase 1 do QFD para remanufatura

Fonte: Puglieri (2009)

Na fase 2 são transportados os pesos relativos da Fase 1 para uma segunda matriz que faz uma nova relação substituindo ‘propriedades do produto e métricas de engenharia’ por ‘métricas de engenharia e componentes do produto’ (Figura 17).

QFD para remanufatura - Fase 2	Métricas de Engenharia	Pesos relativos Fase 1	Componentes do Produto			
			Motor	Ventoinha	Sistema de aquecimento	Carga
	Peso	0,094	9	3	3	3
	Volume	0,150	3			9
	Nº de partes	0,225	9	1	3	
	Nº de tipos de materiais combinados	0,188	9		3	3
	Sistema modular	0,169				
	Durabilidade dos componentes	0,081	3	3	3	3
	Toxidade dos materiais	0,094	3			1
	Pontuação bruta		5,531	0,750	1,763	2,531
	Peso relativo		0,523	0,071	0,167	0,239

Figura 17:Fase 2 do QFD para remanufatura

Fonte: Puglieri (2009)

Distribuindo os pesos conforme a relação entre as métricas e realizando os cálculos de pontuação conforme se observa na fase 1, é possível identificar quais os componentes que devem ser mais trabalhados para garantir a remanufatura.

Comparando os procedimentos usados por Armacost; Balakrishnan; Pet-Armacost (1999) e Puglieri (2009), observa-se que no primeiro estudo requisitos técnicos do produto foram adquiridos a partir dos requisitos dos clientes com o auxílio da casa da qualidade, enquanto que Puglieri utiliza a matriz RemPro que fornece as características desejáveis dos produtos remanufaturáveis. Ambos incorporam as questões relativas do processo de remanufatura em QFD para orientar o processo de design e consideram, também, apenas o remanufaturador como cliente, esquecendo das necessidades do consumidor final para o produto. Por isso, observa-se que nos casos analisados as exigências ou as necessidades do comprador final não são levantadas, e que são de extrema importância para o sucesso do produto no mercado.

No entanto, considera-se que esta é uma ferramenta válida para orientar o processo de design de produtos remanufaturáveis, uma vez que possibilita um levantamento inicial das necessidades de remanufatura que o produto deverá satisfazer, mas que também devem ser incorporadas ou listadas também as necessidades dos usuários finais para o produto.

#### 3.4.1.8 Asset Recovery Management Program

O processo de recuperação como estratégia de fim de vida de produtos empregado pela Xerox Corporation é descrito por Berko-Boateng et al (1993). A ênfase do processo de recuperação é o Total Asset Recovery Management. Segundo os autores, o compromisso da Xerox Corporation é realizar o design de produtos, módulos e componentes desde o início do projeto para serem reutilizados ou totalmente reciclados no fim de sua vida útil. O objetivo do Asset Recovery Management Program é atingir 0% de descarte final dos materiais para aterro, minimizando impactos negativos sobre o meio ambiente.

O Asset Management centra-se no reaproveitamento dos seus itens (produtos, módulos e componentes) para reduzir estoques e melhorar o retorno sobre os ativos da empresa, ao mesmo tempo em que enfatiza o desenvolvimento de estratégias para reutilizar e reciclar futuros produtos. Para permitir o sucesso da implementação da gestão de ativos e de reaproveitamento de produtos, todas as atividades chave foram incorporadas ao processo de desenvolvimento de produtos – PDP da empresa e check-lists fornecidos para cada fase do processo (Figura 18– processo atual).

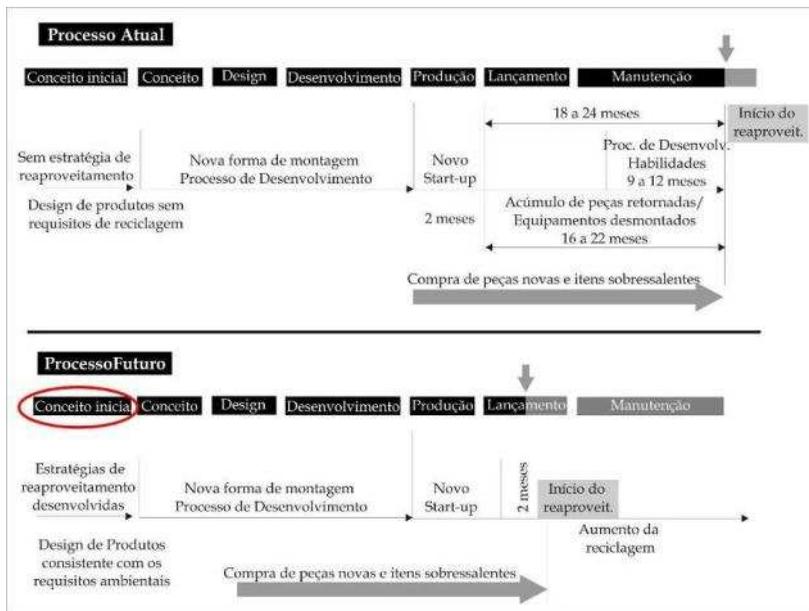


Figura 18: Processo de Reutilização da Xerox Corporation

Fonte: Adaptado de Berko-Boateng et al (1993)

Com o objetivo de otimizar o processo de reaproveitamento de produtos realizado pela Xerox, Berko-Boateng et al (1993) propõem que as estratégias de fim de vida sejam aplicadas para que os produtos sejam reaproveitados imediatamente após o seu lançamento no mercado.

O Asset Recovery Management é o processo de reaproveitamento de máquinas, subconjunto, peças e material de embalagem por remanufatura ou para simplesmente recuperar seu conteúdo original. A empresa busca trabalhar com o conceito de ciclo fechado que envolve a cadeia de suprimentos reversa, garantindo o retorno de algumas peças e materiais que podem ser modificados (atualização) durante o reprocessamento, a fim de serem utilizados para novas aplicações pela Xerox.

Com o objetivo atingir 0% de envio de material para o aterro sanitário, a empresa considerou os seguintes desafios: (i) simplificar o design dos produtos para a desmontagem versus projeto para montagem (DFD x DFA); (ii) reduzir a diversidade de materiais; (iii) maximizar o valor útil de todos os materiais; (iv) incorporar materiais recicláveis, especialmente plásticos; (v) desenvolver uma estratégia coerente de

reciclagem; (vi) projetar para o meio ambiente (uso de estratégias de fim de vida).

A empresa busca tornar os produtos fáceis de fazer, de desmontar, modificar e remontar. Isto é feito usando métodos modulares e pela padronização das peças utilizadas. Esta prática permite desenvolver uma ampla variedade de produtos utilizando uma grande base de peças modulares e que facilita o processo de remanufatura.

#### 3.4.1.9 REPRO2 - Caracterização do produto remanufaturável

O Perfil do Produto Remanufaturável (PPR) como característica principal para garantir tanto a importância econômica do projeto como para orientar o design de produtos para fácil remanufatura é discutido por Zwolinski e Brissaud (2008). A abordagem proposta no trabalho é baseada no projeto orientado para desenvolver o design conceitual do produto com propriedades de remanufatura e reutilização, mantendo as suas qualidades e rentabilidade. Em um estudo anterior os autores Zwolinski; Lopez-Ontiveros; Brissaud (2006) obtiveram o Perfil do Produto Remanufaturável. Esta caracterização foi estabelecida por meio da análise de 25 produtos que forneceu os principais critérios que o produto em desenvolvimento deve alcançar para ser considerado como remanufaturável. Posteriormente os critérios foram agrupados em externos e internos.

Os critérios externos (CE) descrevem o contexto de remanufatura do produto, como os aspectos econômicos, tecnológicos, de mercado e ambientais. Os critérios internos (CI) descrevem as características técnicas do produto, como estrutura, qualidade, remodelação e valorização (Figura 19). Na Figura, a primeira coluna apresenta um agrupamento de produtos em cinco categorias (CE), a partir do ponto de vista externo e, em seis categorias (CI) a partir do ponto de vista interno. Nota-se que um determinado produto pertence igualmente ao agrupamento CE e ao agrupamento CI, pois para cada produto da amostra foi criada uma ligação entre grupos para o qual o produto pertence. Estas ligações foram denominadas de perfil do produto remanufaturável. Onze perfis foram desenvolvidos para conectar os dados externos provenientes do contexto de remanufatura para a as características internas do produto.

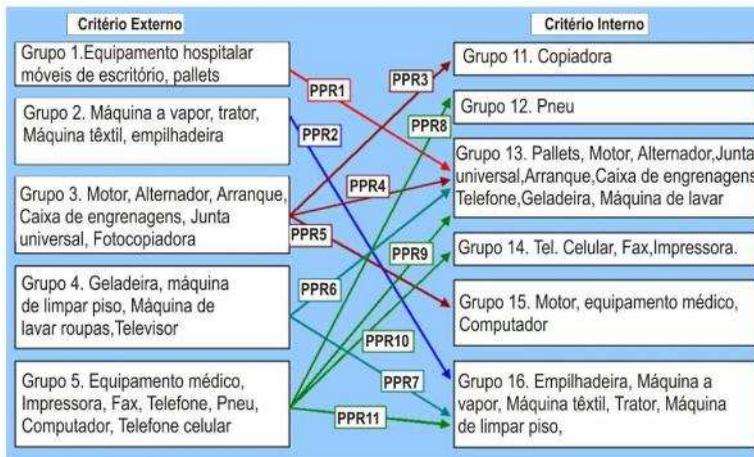


Figura 19: Agrupamento e ligações entre os critérios

Fonte: Adaptado de Zwolinski e Brissaud (2008).

Os critérios estão assim definidos:

#### Critérios externos

**Aspectos econômicos.** A definição dos aspectos econômicos é útil para validar a rentabilidade da remanufatura de produtos em comparação com produtos manufaturados. Assim, as equipes de desenvolvimento mantêm o valor para a rentabilidade do produto (o nível do valor agregado mantido nos produtos em seu fim de vida), e de economia alcançada relativa ao consumo de energia e de matérias-primas.

**Aspectos tecnológicos.** A definição dos aspectos tecnológicos é útil porque a inovação tecnológica influencia produtos remanufaturados. Assim, as equipes de desenvolvimento têm que avaliar de que forma a mudança para uma nova tecnologia terá impacto no ciclo de vida dos produtos remanufaturáveis e também suas conseqüências sobre a definição do produto.

**Aspectos de mercado.** A definição dos aspectos de mercado é útil para definir o setor foco do produto e, portanto, para especificar necessidades de compradores e usuários. Muitos produtos remanufaturados compartilham o mercado com os produtos originais, assim, as equipes de desenvolvimento têm de avaliar se o consumidor está interessado no serviço ou na aquisição do produto.

**Aspectos ambientais.** A definição dos aspectos ambientais é útil para identificar lucros ambientais que poderiam ser feitos com um

produto remanufaturado, tendo em conta os recursos utilizados e os resíduos gerados ao longo de todo o ciclo de vida do produto.

#### Critérios internos

**Estrutura do produto.** Considera a estrutura do produto que permite a caracterização da capacidade de um produto de ser coletado e desmontado: número de peças, arquitetura, técnicas de união, e assim por diante.

**Testes de qualidade.** Esta categoria fornece critérios para avaliar a capacidade do produto e de seus componentes de serem testados e inspecionados antes de serem reutilizados ou remanufaturados.

**Remodelação.** É caracterizada pela capacidade de peças e juntas para serem limpas, reparadas e restauradas.

**Valorização.** Considera a valorização que permite identificar qual será o fim de vida do produto, bem como a capacidade das peças para serem valorizadas considerando materiais e energia.

As propriedades de remanufatura extraídas dos produtos foram aplicadas em um software chamado REPRO2. O objetivo primeiro do programa foi aumentar a percentagem de componentes reutilizáveis após a limpeza e, o segundo, aumentar a vida útil do produto. Além disso, objetivou buscar por métricas que pudessem medir a manufacturabilidade do perfil de um produto remanufaturável. O software também objetiva auxiliar as equipes de desenvolvimento na tomada de decisão para adotar uma estratégia de remanufatura e reutilização de acordo com a política de uma empresa, assistindo as equipes de desenvolvimento na criação do produto remanufaturável, destacando parâmetros de produtos ligados à propriedade de remanufaturabilidade e aconselhamento sobre os valores-alvo destes critérios. Os parâmetros da PPR selecionados tornam-se as metas a satisfazer para o produto em desenvolvimento (Figura 20).

Como vantagem o REPRO2 auxilia principalmente as equipes de desenvolvimento a levantar os dados necessários para efetuar a análise para a remanufatura. Contudo, a interpretação é da responsabilidade da equipe, assim, observa-se que a experiência dos profissionais torna-se necessária para desenvolver o produto nesse sentido.

Os PPR são utilizados para aperfeiçoar um produto já existente ou para testar a capacidade de um produto para ser remanufaturado.

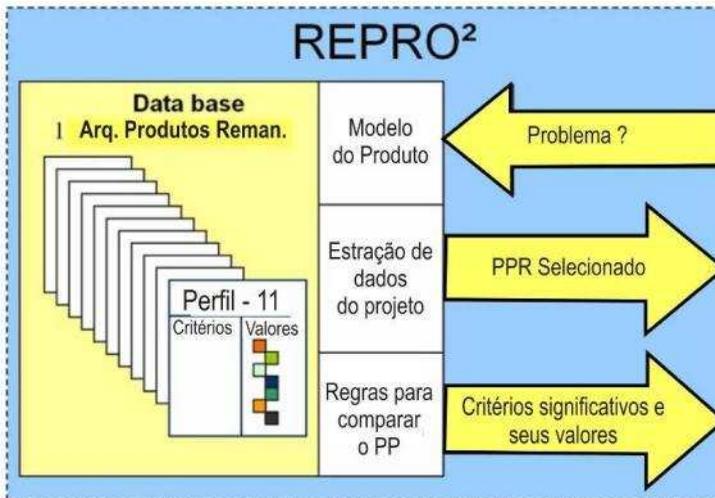


Figura 20: Problemática inicial do produto remanufaturável

Fonte: Adaptado de Zwolinski e Brissaud (2008)

Quando o produto não é bem conhecido a maioria das variáveis internas não pode ser avaliada. Esta ferramenta pode ser utilizada, portanto, para avaliar a capacidade de um produto para ser remanufaturado.

#### 3.4.1.10 Métricas para Remanufaturabilidade

Bras e Hammond (1996) propõem métricas para avaliar a remanufaturabilidade de produtos e ajudar a desenvolver peças que possam ser remanufaturadas no final do seu ciclo de vida. As métricas resultantes constituem um meio para que equipes de desenvolvimento obtenham feedback em relação à remanufaturabilidade de um produto. A abordagem foi baseada no estudo das métricas para o DFA (Design for Assembly) desenvolvidas pelos pesquisadores Boothroyd e Dewhurst.

Para obter o índice de análise em DFA, Boothroyd e Dewhurst determinaram um número teórico mínimo de peças. Para este número ideal foi atribuído 3 segundos para montagem de cada peça, o que resultou em um tempo idealizado para a montagem. O tempo ideal foi dividido por uma estimativa de tempo de montagem real exigido pela seqüência escolhida de montagem, o que resultou em avaliação eficiente para a montagem.

A fim de desenvolver uma sistemática semelhante, Bras e Hammond (1996) buscaram uma melhor compreensão de quais critérios precisavam ser medidos em remanufatura, para ter uma idéia de como estes critérios seriam importantes em relação a outros. Como resultado, uma estrutura dos fatores que afetam a remanufaturabilidade foi proposta (Figura 21).

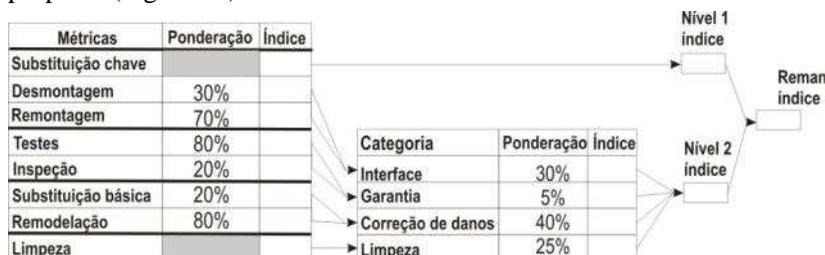


Figura 21: Estrutura de avaliação da remanufaturabilidade do produto

Fonte: Adaptado de Bras e Hammond (1996).

Na Figura 21, o fluxo de informação é da esquerda para a direita e as setas indicam a combinação de insumos. Na estrutura, a coluna 'métricas' denota os critérios fundamentais que devem ser medidos a fim de obter uma avaliação de remanufaturabilidade. A 'categoria' é um agrupamento de métricas intimamente relacionadas e interdependentes que, na sua essência, denota uma etapa intermediária na obtenção de uma avaliação de remanufaturabilidade. Os 'índices' representam valores numéricos. O índice de remanufatura é um valor ponderado denotando a remanufaturabilidade do produto.

Com base nas etapas genéricas do processo de remanufatura, as métricas foram estabelecidas para uma combinação de atividades. O conjunto de métricas desenvolvidas foi: (i) Limpeza; (ii) Correção de falhas ou danos, com métricas de reparo, renovação e substituição; (iii) Garantia de Qualidade, com métricas de testes e inspeção; (iv) Interface de Peças, com métricas de montagem e desmontagem.

As métricas apresentam as seguintes limitações: (i) só podem ser efetivamente utilizadas durante ou após a fase do design do produto; (ii) só caracterizam aspectos da remanufaturabilidade que estão diretamente sob o controle do projetista - outras questões que podem ter um impacto mais significativo na remanufaturabilidade do produto devem ser consideradas separadamente; (iii) a precisão das métricas é limitada para os produtos da mesma escala aproximada - produtos que podem ser desmontados, remontados e testados em uma bancada de trabalho usando ferramentas manuais padrão.

Igualmente, métricas qualitativas para produtos remanufaturáveis foram pesquisadas por Hammond; Amezquita; Bras (1998). Estes autores que abordaram as seguintes questões críticas específicas de remanufaturabilidade:

- Disponibilidade e custo das peças de substituição, o aumento da diversidade do produto, limpeza, corrosão, competências do empregado e questões de design tais como: complexidade dos métodos fixação, dos meios de montagem e desmontagem, fragilidade das peças devido à reduzida dimensão e, uso de materiais mais leves;
- Pesquisa junto aos remanufuradores/indústria;
- Busca de métricas que possam medir a manufaturabilidade de um produto/perfil do produto remanufaturável.

Entretanto, as métricas só podem ser efetivamente utilizadas após a fase do design do produto, por exemplo, é preciso saber como será a substituição das peças para empregá-las. Também só caracterizam os aspectos de remanufaturabilidade que estão diretamente sob o controle do projetista, outras questões que podem ter um impacto mais significativo no produto, tais como motivação econômica ou leis ambientais, que impeçam a Remanufatura ou a reciclagem, devem ser contabilizadas separadamente. A precisão das métricas é limitada para os produtos que são desmontados, remontados e testados por processo manual utilizando ferramentas padrão. Não são aplicáveis a outros processos e tecnologias como a automação.

#### 3.4.1.11 Método da analogia biológica para o DFRem

Vakili e Shu (2001) propõem um método para gerar soluções para design de produtos remanufaturáveis, com uma estratégia que envolve a busca de analogias biológicas para ajudar a resolver problemas de engenharia. De acordo com Vakili e Shu (2001), para encontrar idéias de design na natureza é preciso primeiro definir os requisitos do sistema artificial e, em seguida, encontrar um sistema na natureza que desempenha uma função semelhante.

A partir disso, os autores realizaram uma busca para as funções ou palavras-chaves remanufaturar, reformar e seus sinônimos. Uma analogia foi encontrada a nível molecular, especificamente nos mecanismos de reparo do DNA, que levou a um conceito que facilitaria a remanufatura e seu objetivo essencial, a reutilização de peças (Figura 22).

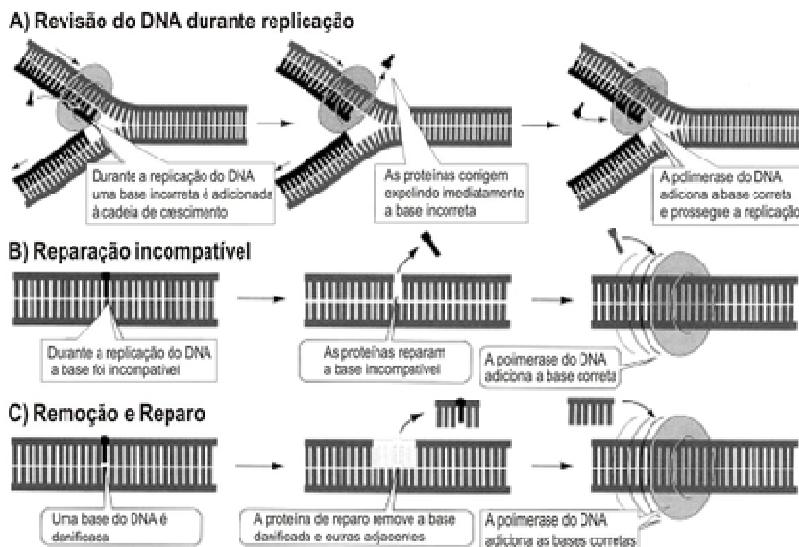


Figura 22: Mecanismos de reparação do DNA

Fonte: Purves et al. (1998 apud Vakili e Shu, 2001).

Igualmente, Hacco e Shu (2002), utilizando desse princípio chegaram ao conceito de falha induzida, na qual o produto seria projetado para antecipar a ocorrência de falhas e facilitar a remoção da zona de defeito, a fim de favorecer o reparo e a substituição de peças durante o processo de remanufatura.

Enquanto princípio, oferece amplas possibilidades para a criação de produtos com sistemas ‘inteligentes’ de reparo, no entanto, muitas pesquisas ainda são necessárias para se realizar satisfatoriamente um produto com essa proposta.

#### 3.4.1.12 FMEA para Remanufatura

Sherwood e Shu (2000) propõem o uso adaptado da Análise dos Modos de Falhas e seus Efeitos (Failure Modes and Effects Analysis - FMEA) para desenvolver uma metodologia e conceber produtos que possam ser mais facilmente remanufaturados. No estudo, os autores consideram que as peças não reutilizadas na remanufatura serão descartadas, e que por isso entram no fluxo de resíduos. Segundo essa idéia, a análise deste fluxo de resíduos utilizando FMEA é um processo válido para identificar os obstáculos à reutilização de peças e para desenvolver estratégias de design como orientações e indicadores que permitam uma remanufatura mais eficiente.

A fase de projeto é considerada como a ideal para a identificação de preocupações de qualidade, e também perfeita para a identificação das preocupações de remanufatura. O pressuposto é de que os modos de falha de uma peça podem ser previstos, então a solução pode ser planejada. Segundo os autores, os benefícios do método são:

- Estabelecer prioridades para melhorias de design;
- Documentar justificativas para as mudanças;
- Fornecer informações para apoiar os designers durante as fases de design do produto, verificação e testes;
- Identificar características críticas ou significativas;
- Apoiar as avaliações dos requisitos de design e alternativas;
- Ajudar a eliminar as preocupações de segurança;
- Identificar cedo as falhas do produto

Na pesquisa de Sherwood e Shu (2000), o FMEA assume a forma de um quadro com onze categorias (Quadro 13).

<i>Original, Abreviado</i>	<i>Modificado para Remanufatura</i>
Design Funcional	Design funcional
Modo de falha potencial	Modo de falha
Efeito da falha potencial	Sucata falha
∇	∇'
SEV	Método de detecção
Causa de falha potencial	DET
OCC	Causa da falha
Método de detecção	OCC (modo de falha %)
DET	REP
RPN	RPN
Ação recomendada	Ação recomendada

Quadro 13: Quadro de categorias FMEA

Fonte: Adaptado de Sherwood e Shu (2000)

Essas categorias foram adaptadas para o processo de remanufatura. Cada peça que apresenta falha é analisada separadamente e relacionada com cada categoria.

Como é mais difícil ser específico para a avaliação de peças para remanufatura, mais causas de falhas foram listadas como, por exemplo, se a falha é causada por manutenção indevida ou por falta dela. A função do design da peça é descrita e pode ser derivada do que o cliente precisa ou quer, ou ainda a partir da intenção do projeto do produto. Para as peças no fluxo de resíduos o efeito de todas as falhas é que a peça será descartada.

Ao invés de priorizar apenas pelo número de falhas (OCC), a análise FMEA utiliza os outros dois fatores (DET e REP). Um reflete a capacidade de detectar certo tipo de modo de falha. O outro leva em conta que alguns tipos de falhas podem ser mais facilmente reparados que outros. Para Sherwood e Shu (2000), o FMEA fornece uma lista de verificação para dar a equipe de desenvolvimento uma ferramenta estruturada para tratar a falha do sistema, projeto, processo e serviços. Portanto, as peças selecionadas na lista podem ser adaptadas para refletir as preocupações de remanufatura.

#### 3.4.1.13 Remanufacturing Design Platform Model (RDPM)

Barker e King (2007) discutem o conceito de Design Racional que é a combinação entre a estrutura que sustenta o design de um produto e o raciocínio que há por trás dela. Trata-se ainda do mapeamento da primeira fase do ciclo de desenvolvimento do produto, que abrange a pesquisa do que será desenvolvido, bem como o planejamento das ações adequadas para a equipe do projeto para criar produtos com sucesso.

A criação do Remanufacturing Design Platform Model (RDPM) foi centrada na compreensão da lógica que há por trás do design para remanufatura, que investiga as alternativas das estratégias de design, os pontos no processo em que as decisões sobre fim de vida são feitas e outros fatores que influenciam essas decisões. No estudo realizado pelos autores, os principais critérios que devem ser considerados na criação de uma lógica de DFRem são custos, tempo e a qualidade, avaliados no contexto do DFX e da desmontagem do produto. O estudo considera a desmontagem como fator chave do processo de remanufatura, cujos efeitos das más decisões tomadas durante esta etapa do processo teriam como resultado:

- O processo de remanufatura seria mais demorado, devido às dificuldades para separar as peças permanentemente vinculadas;
- O processo seria mais caro, como as atividades de corte ou a separação entre peças com o uso de máquinas que também requer operários qualificados;
- De baixa qualidade, porque os componentes são suscetíveis a danos durante o processo de desmontagem, não sendo possível a reutilização de peças de forma confiável.

No estudo, a qualidade do produto remanufaturado aparece de importância significativa, mas também sugere a produtividade,

manutenção, e facilidade de manuseio como fatores-chave que devem ser considerados pela lógica. Os seguintes fatores também devem ser considerados no desenvolvimento de peças remanufaturáveis:

- A quantidade de movimentos executados deve ser considerada para a desmontagem de peças;
- A peça deve ser feita de um material diferente, uma vez que as propriedades dos materiais são necessárias para atingir os requisitos de concepção;
- A peça deve facilitar o processo de desmontagem ou remontagem.

Os autores identificaram ainda que existem quatro barreiras técnicas que precisam ser superadas antes da remanufatura ser bem sucedida: a logística reversa, a desmontagem de componentes, a inspeção de componentes e a demanda do cliente, esta última considerando a percepção do cliente no momento da devolução dos produtos ao remanufaturador.

O estudo assinala os critérios adequados que devem ser considerados em uma lógica de projeto para o DFRem: (i) atividades básicas, que sugerem ações que devem ser realizadas durante a remanufatura, juntamente com as métricas de amostra; (ii) desempenho, critérios tais como a obsolescência de componentes (que pode alternativamente ser chamado de desgaste ou falta de taxa), desempenho de componente e flexibilidade, e uma medida para identificar futuros requisitos de desempenho (desempenho e vida útil de componentes e a serem avaliados ao longo de gerações de produtos); (iii) métricas de vida do produto, que são necessárias para monitorar um produto individualmente ao longo da sua vida, uma fonte de informação sobre potenciais fatores, tais como taxas de insucesso e longevidade do componente, e; (iv) funcionalidade com base em critérios, que definam as qualidades físicas do produto, como materiais, dimensão física e o custo em termos de preço e utilização de energia.

#### 3.4.1.14 Modelo de decisão para reutilização, remanufatura ou reciclagem

Mangun e Thurston (2002) apresentam um modelo de planejamento abrangente para a decisão sobre o reaproveitamento de componentes no design de produtos. Emprega uma abordagem de portfólio de produtos baseada na segmentação do mercado, ao invés de considerar um único produto. Propõe ajudar na determinação de quando

o produto deve retornar e quais os componentes que devem ser reutilizados, reciclados ou eliminados e, ainda, facilitar a reflexão das opções de fim de vida, considerando custo, confiabilidade e impacto ambiental. A Figura 23 apresenta os principais elementos deste modelo.

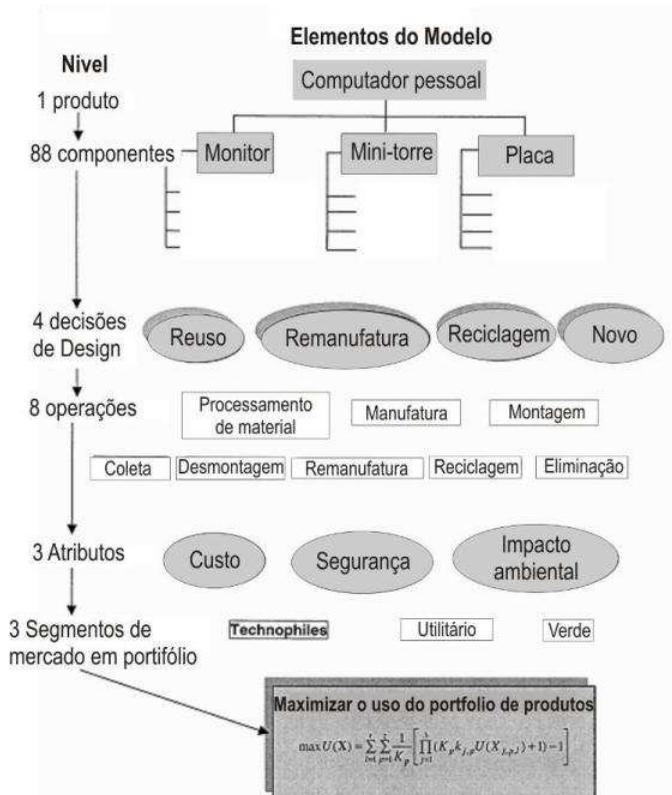


Figura 23: Modelo de decisão de projeto para reutilização, remanufatura ou reciclagem

Fonte: Mangun e Thurston (2002)

Na figura 23, um exemplo é aplicado em um computador pessoal. O modelo identifica um conjunto de decisões de projeto para cada um dos 88 componentes principais do computador. Quatro decisões são possíveis para cada componente: (i) empregar um componente reutilizado para um segundo (ou subsequente) ciclo de vida; (ii) empregar um componente remanufaturado; (iii) empregar um componente feito de material reciclado, ou; (iv) empregar um novo componente com matérias-primas virgens. Oito operações são

consideradas para a estimativa de custo, para a confiabilidade e impactos ambientais e para a tomada de cada uma das quatro decisões de projeto.

Três segmentos de mercado distintos compõem o portfólio. O objetivo da função matemática apresentada no final do modelo é aproveitar a utilidade total do portfólio de produtos durante os vários ciclos de vida.

É empregada para refletir preferências dos clientes, incluindo a disponibilidade para fazer trocas e a atitude em relação a incertezas. Ou ainda, é a soma das utilidades individuais do grupo de clientes em cada ciclo de vida. Tem uma escala de 0 a 1, a utilidade 0 significa que todos os atributos estão em seu nível mínimo aceitável, e 1 significa que todos os atributos estão no seu melhor nível possível. No entanto, este cálculo não fica muito claro no estudo.

O estudo não considera o tempo de espera para receber os componentes para a reintrodução na linha de produção. Além disso, os custos do ciclo de vida não consideram o aumento de preços ao longo do tempo. Aspectos de design de produto, tais como o processo de desenvolvimento e logística, não são incluídos.

#### 3.4.1.15 Modelo do processo de negócio de remanufatura - IDEF0

Ijomah, Childe; McMahon (2004) apresentam um modelo analítico do processo de negócio genérico de remanufatura. O IDEF0 é uma técnica de modelagem que ilustram componentes e fluxos de um sistema e ajuda a identificar quais atividades são executadas, como elas são realizadas e os erros e acertos do sistema existente. Sua principal vantagem é que aumenta a participação e a tomada de decisão simplificada usando métodos gráficos.

IDEF0 foi baseado em uma linguagem gráfica bem estabelecida, a Análise Estruturada e Técnicas de Projeto (Structured Analysis and Design Technique - SADT), desenvolvida na década de 70 para as atividades de modelagem de mísseis da Força Aérea dos Estados Unidos. Seus benefícios incluem: (i) ajudar na organização da análise de um sistema; (ii) melhorar a comunicação entre o analista e o cliente e; (iii) estabelecer o âmbito de uma análise (Figura 24)

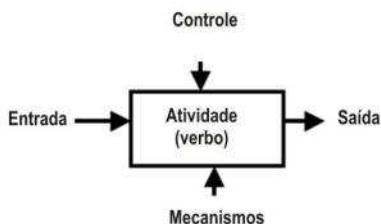


Figura 24: Exemplo do modelo do Diagrama IDEF0

Fonte: Ijomah, Childe; McMahon (2004)

As entradas (transformadas em saídas pela atividade) são mostradas no lado esquerdo da caixa de atividade, que pode ser o material usado na fabricação de um produto. As saídas (entradas transformadas) são mostradas no lado direito da caixa da atividade e incluem a garantia e o produto fabricado pelo processo. Os controles são insumos, como restrições ou regras que regem as condições da transformação, por exemplo, habilidades, técnicas e exigências legais que estão indicados na parte superior da caixa. Os mecanismos, ilustrados na parte inferior da caixa, são os meios pelos quais a atividade é realizada, por exemplo, robôs, transportadores ou pessoas.

O modelo mostra o recurso necessário em todas as áreas do processo de remanufatura, incluindo as atividades e subgrupos, bem como as inter-relações entre os sub-processos. Começa com as atividades relacionadas ao pedido do cliente quando encomenda um produto remanufaturado, atravessa todos os envolvidos na empresa que produz esse produto, e termina com as atividades de entregar do produto ao cliente (Figura 25).

É constituído por uma série de diagramas incorporados em um esquema de nível superior que dá uma visão geral do sistema e, outro, de nível inferior que fornece informações cada vez mais detalhadas. Devido a estas características, pode ser usado como um instrumento de planejamento e controle das atividades de remanufatura para ajudar a projetar e implementar empresas eficientes e eficazes, e melhorar o processo de remanufatura. Por exemplo, os diagramas de nível superior oferecem uma macro-visão do processo de remanufatura aos gestores, facilitando a tomada de decisões estratégicas.

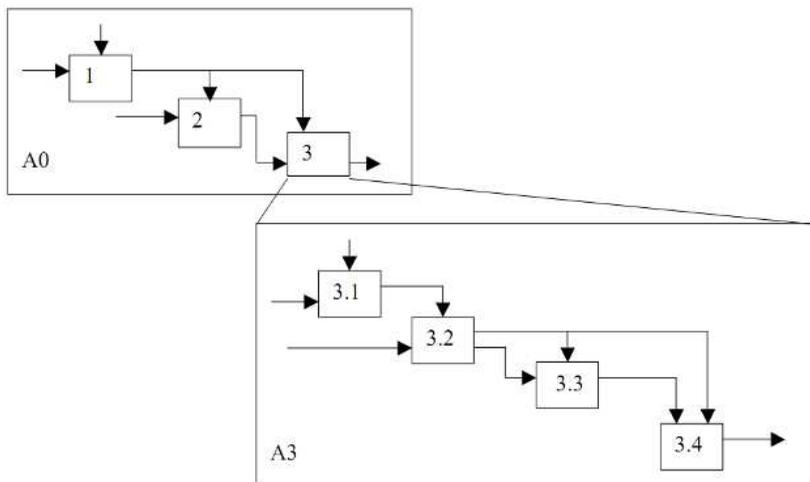


Figura 25: Decomposição em IDEF0

Fonte: Ijomah, Childe; McMahon (2004).

As informações detalhadas de funcionamento que apóiam os trabalhadores do chão de fábrica em suas tarefas diárias são fornecidas pelos diagramas de nível inferior.

Segundo os autores, o modelo mostra a interação existente entre as diversas atividades, o que ajuda funcionários a ter uma visão de todo o sistema da empresa, favorecendo a eficiência e a eficácia da atividade de remanufatura enquanto processo de negócio.

A sistemática apresentada por Ijomah, Childe; McMahon (2004) propõe uma linguagem gráfica para visualização e controle das atividades das empresas para torná-las mais eficientes e melhorar o processo de remanufatura. Este sistema de análise é importante na medida em que apresenta uma estrutura das áreas do processo de remanufatura, incluindo atividades e sub-processos, pertinente a compreensão da abordagem central desta pesquisa.

Sob essa ótica, para criar produtos remanufaturáveis é necessário ir além do produto e do processo e considerar fatores não técnicos como modelo econômico, necessidades dos remanufaturadores e aspectos de mercado para definir os limites e os objetivos do projeto.

A fim de melhor entender a abrangência da remanufatura, a seguir discute-se planejamento da produção e aspectos de mercado. Embora esses assuntos não façam parte do escopo desta pesquisa,

entende-se que existem fatores que influenciam a remanufatura, que vão além das questões operacionais e do desenvolvimento de produtos.

### 3.5 PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO E CONTROLE DAS ATIVIDADES DE REMANUFATURA

Guide Jr (2000) desenvolveu um relatório sobre as práticas de gestão de remanufatura por meio de uma pesquisa sobre o planejamento da produção e controle das atividades de remanufatura em empresas nos Estados Unidos. O estudo identifica e descreve as características principais que complicam este sistema. Estas características são:

***Incerteza quanto ao momento e a quantidade de núcleos que retornam*** - Este problema é um reflexo da natureza incerta da vida de um produto, pois o estágio do ciclo de vida e o grau de mudança tecnológica influenciam na taxa de retorno. O problema da aquisição do núcleo exige que sua disponibilidade possa ser prevista para fins de planejamento, para comparar com a previsão de demanda e determinar se uma quantidade suficiente de núcleos está disponível para atender à demanda.

***Balancear os retornos com as demandas*** - O balanceamento de retornos com as demandas de um produto é também em função da expectativa de vida e da taxa de inovação tecnológica. Para maximizar os lucros, uma empresa deve ser capaz de equilibrar os retornos de itens dos consumidores com a demanda por produtos remanufaturados. Os efeitos secundários dessa característica incluem a gestão de materiais e o planejamento de recursos, assim, as atividades de gestão de materiais são influenciadas pela aquisição do núcleo e dimensionamento dos lotes de reposição, que depende dos volumes esperados e da condição dos núcleos. No caso de peças de reposição que não estão disponíveis, os núcleos em excesso podem ser reaproveitados como peças de reposição e colocados em outro produto igual ou similar, para deixá-lo operacional (canibalização).

***Desmontagem*** - Os efeitos do impacto das operações de desmontagem incluem um grande número de áreas, incluindo controle de produção, cronograma, controle de chão de fábrica, materiais e planejamento de recursos. A desmontagem, e a posterior liberação de peças para as operações de remanufatura, requerem um alto grau de coordenação a fim de evitar altos níveis de estoque ou baixo serviço ao cliente. A desmontagem é o primeiro passo na transformação de remanufatura e age como um portão de entrada para as peças do processo de remanufatura. Como o tempo de desmontagem pode ser

muito elevado e incerto, fica difícil estimar tempos de fluxo e definição de prazos precisos;

***Incerteza da recuperação dos materiais*** - A incerteza de recuperação dos materiais reflete que dois itens idênticos retornados podem render um conjunto muito diferente de peças remanufacturáveis. As peças podem ser reutilizadas para uma variedade de aplicações, dependendo de sua condição. Por exemplo, as peças poderão ser recondiçionadas, utilizadas para reposição, vendidas para mercados secundários ou recicladas. Esta incerteza traz mais problemas para o pessoal de planejamento de estoque e controle;

***Logística Reversa*** - A rede de logística reversa é responsável pelo recolhimento dos produtos a partir do usuário final e de como eles retornam para uma empresa de reparo, remanufatura ou reciclagem. Esta rede é muito complexa, pois envolve uma série de decisões como de número de localização dos centros de retorno, incentivos para devolução de produtos, métodos de transporte, fornecedores de peças e uma série de outras decisões. Uma grande parte da logística reversa está preocupada com a gestão de aquisição do núcleo para garantir um adequado abastecimento para a remanufatura;

***Requisitos de correspondência*** - Requisito de correspondência é quando o cliente mantém a propriedade sobre o produto remanufaturado e recebe outro produto de volta, ou o cliente entrega a unidade a ser reconstruída e recebe uma mesma unidade em troca. Essa característica dificulta o planejamento de recursos, controle de chão de fábrica e gestão de materiais. O requisito para as peças obriga a empresa a coordenar cuidadosamente as operações de desmontagem com as operações de Remanufatura e remontagem. Este requisito é comum para remanufuradores praticantes de uma estratégia de médio prazo, o cliente detém a propriedade e fornece o produto a ser remanufaturado;

***Incerteza na rota e tempo de processamento*** - Roteiros aleatórios e tempos de processamento incertos são preocupações primordiais no nível operacional. Roteiros aleatórios são reflexos da condição incerta das unidades devolvidas. A peça terá um conjunto máximo de processos que devem ser realizados para restaurar as especificações. No entanto, esses roteiros representam mais um cenário, e a maioria das peças só vai exigir um subconjunto de etapas de processamento. Estas novas formas e incerteza de fazer planejamento de recursos, agendamento, controle de chão de fábrica e gestão de materiais traz mais dificuldades do que em ambientes de produção tradicional.

É importante observar que as ferramentas de produção convencional, segundo Guide Jr (2000), não são ideais para atenuar essas dificuldades, porque o planejamento do controle da produção em Remanufatura é significativamente diferente da fabricação tradicional, visto que os principais problemas que impactam nas decisões operacionais dizem respeito à incerteza de prever a qualidade e a quantidade de retorno dos núcleos, bem como os critérios de avaliação, preços dos produtos e controle de qualidade.

### 3.6 AS QUESTÕES DO MERCADO DE REMANUFATURA

De acordo com Östlin; Sundin; Björkman (2009), para remanufatura ter sucesso é necessário obter informações sobre as futuras necessidades do mercado de produtos remanufaturados, e combinar estas informações com os fluxos de retornos. Quando os dados de vendas e de distribuição do produto são conhecidos, estes podem ser utilizados como base para a previsão de quando esses produtos serão suscetíveis de serem devolvidos. Estes autores relacionam as principais questões que impedem a remanufatura (ÖSTLIN; SUNDIN; BJÖRKMAN, 2009):

- A dificuldade na obtenção dos produtos utilizados (núcleos) adequados para remanufaturar;
- O tempo e a quantidade de retorno dependem do tipo de produto;
- Fatores como o tempo de vida médio do produto, taxa de inovação tecnológica e taxa de falha de componentes, que influencia a taxa de retorno de produtos em fim de uso e em fim de vida

Fim de uso refere-se às situações em que o usuário tem uma oportunidade de retornar o produto em um determinado estágio de vida. Assim, o equilíbrio entre as devoluções de produtos e a procura de produtos remanufaturados é claramente uma função de muitas variáveis, onde a taxa de inovação tecnológica, a expectativa de vida de um produto são as principais características que influenciam a remanufatura (ÖSTLIN; SUNDIN; BJÖRKMAN, 2009).

Nesta perspectiva, podem-se distinguir três questões básicas do negócio de remanufatura: (i) a gestão de devoluções de produtos, (ii) as questões operacionais de remanufatura e; (iii) o desenvolvimento do mercado de produtos remanufaturados. Qualquer um desses pontos pode ser um gargalo a esta área de negócio, assim as seguintes perguntas

devem ser feitas antes de se realizar a Remanufatura (GUIDE e VAN WASSENHOVE, 2009):

- Alguém quer comprar produtos remanufaturados (desenvolvimento do mercado de produtos remanufaturados)?
- O valor pode ser recuperado e retorna a um preço razoável (custo de remanufatura)?
- Existe um acesso regular aos produtos usados (gestão de retornos do produto)?

Para os fabricantes do equipamento original são vários os benefícios para quem decide remanufaturar seus produtos, como a segurança no fornecimento de peças e acessórios sobressalentes. Além disso, para peças de baixo volume ou produtos aposentados, a remanufatura pode acelerar o fornecimento de peças de substituição para os clientes.

Para adotar esta estratégia de fim de vida, o primeiro passo seria a avaliação do produto existente a fim de analisar sua capacidade para Remanufatura. Para isso, os seguintes questionamentos devem ser feitos (ZWOLINSKI e BRISSAUD, 2006): (i) O produto pode ser remanufaturado? (ii) Como gerenciar o produto para torná-lo facilmente remanufaturável? (Figura 26).



Figura 26 : Design do produto remanufaturável a partir do contexto da empresa

Fonte: Zwolinski e Brissaud (2006)

Estes níveis de análise descritos na Figura 26 são necessários para estabelecer uma ligação entre visão estratégica e visão técnica, em que o sucesso do modelo de negócio de remanufatura depende ainda da capacidade da companhia de fundir os seus interesses com os dos seus clientes (IJOMAH, 2009).

Ao se trabalhar com a estratégia de remanufatura deve-se investigar primeiro quais os passos que são cruciais para a área de negócio pretendida e, posteriormente, tentar fazê-los o mais eficientemente possível (MANGUN e THURSTON, 2002). Contudo, para tornar a remanufatura economicamente atraente é necessário obter quantidade suficiente de produtos usados, de qualidade e de preço adequados e no momento certo. Em outras palavras, é preciso ir muito além da técnica e dos limites operacionais e ter uma perspectiva do processo global de negócio (GUIDE e VAN WASSENHOVE, 2009).

Em alguns casos, o produto também pode ser monitorado durante o uso e as informações recolhidas poderiam ser úteis para melhorar o processo de remanufatura e apoiar a estratégia de produto/serviço - Product System Service – PSS.

Um estudo realizado nos Estados Unidos na indústria automotiva de remanufatura assinalou que várias questões afetam este mercado. Os problemas mais comentados pelos entrevistados foram (HAMMOND; AMEZQUITA; BRÁS, 1998): (i) disponibilidade e o custo das peças de substituição; (ii) o aumento da diversidade de produtos; (iii) a limpeza; (iv) a corrosão; (v) competências do empregado e; (vi) o design, dada a complexidade dos projetos dos métodos de fixação e juntas, meios de montagem e desmontagem e a fragilidade de peças devido à reduzida dimensão de material. Algumas práticas beneficiam o fabricante, mas parece que algumas podem diminuir os ciclos de remanufatura, como redução de dimensão e peso de material. Falhas durante a utilização foram apontadas muitas vezes como causa da destruição de várias, se não todas as peças principais de montagem.

Segundo Hammond; Amezquita; Brás (1998), a questão da disponibilidade e custo de substituição de peças, incluindo núcleos, assim como a proliferação de peças e a falta de fornecedores, está fortemente ligada à questão da diversidade de produtos. O tempo despendido durante a fase de desmontagem e remontagem por vezes exige uma ferramenta adicional especializada. A Formação e treinamento do empregado é questão importante, uma vez que devem ser familiarizados com as diversas peças, diferentes técnicas e processos para cada produto. Na pesquisa a limpeza foi identificada como um dos custos mais altos para os remanufaturadores.

Embora a problemática apresentada por Hammond; Amezquita; Brás (1998) sobre o mercado de autopeças remanufaturadas, outros mercados apresentam grande potencial econômico, como os descritos por Sundin (2004) no estudo que realizou no Canadá, Suécia e Japão

com toner de impressora, caminhão e máquinas fotográficas respectivamente. Para Sundin (2004), os incentivos a criação de empresas de Remanufatura são muitos e dependem do local onde está situada e do produto a ser remanufaturado.

Na fabricação tradicional a maior razão para a queda nas vendas é a introdução de novos produtos de melhor desempenho. No caso da remanufatura, alguns produtos podem continuar atrativos por um longo período de tempo, em razão do menor preço para os produtos remanufaturados. Isto principalmente para produtos que possuem baixo desenvolvimento tecnológico, ou que estão em segmento de mercado em que os consumidores não são sensíveis a novas tecnologias (ÖSTLIN; SUNDIN; BJÖRKMAN, 2009).

Consumidores de menor poder aquisitivo, mas interessados em qualidade podem adquirir produtos remanufaturados como, por exemplo, uma geladeira que é um produto indispensável e necessário para toda família. Neste caso, um produto remanufaturado seria o ideal, visto que pode ter um preço de 30% a 50% menor em comparação a um item novo, e que pode apresentar ainda as mesmas condições de qualidade e garantias de um produto novo equivalente (IJOMAH, 2009).

É interessante que um produto que se vai remanufaturar contenha uma variedade de componentes e peças que também serão usados em outros produtos como, por exemplo, automóveis e eletrodomésticos, para aumentar as possibilidades de fornecimento e reaproveitamento de suas partes.

Produtos remanufaturados são normalmente vendidos em comparação com o preço do produto novo com um lucro líquido mínimo de 30% ( $\pm 10\%$ ) (SUNDIN, 2004), o que significa que empresas podem tirar partido do modelo de negócio de Remanufatura e incorporar as atividades do DFRem no seu processo de design (GRAY e CHARTER, 2007), contudo, a incerteza para prever a qualidade e a quantidade de retorno dos núcleos, os preços dos produtos e controle de qualidade são considerados como problemas ainda não solucionados pelos pesquisadores estudados.

Diante disso, conclui-se que a remanufatura exige mudanças dos métodos de design e de fabricação, tendo em vista também que inicialmente aumenta o preço do produto tornando-o mais caro, principalmente em razão das características específicas de resistência ao desgaste e de desmontagem. Mesmo assim, pode levar a rentabilidade em longo prazo, especialmente se considerar as vantagens econômicas e

ambientais sobre os processos de eliminação de resíduos, como a incineração e aterros.

### 3.7 CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPITULO

Este capítulo apresentou as principais abordagens sobre remanufatura, bem como analisou métodos e ferramentas do DFRem existentes na literatura que se propõem a melhorar o processo e o produto para remanufatura.

Na soma dos resultados gerados a partir da literatura relacionada, encontraram-se diretrizes e recomendações que consideram as limitações e as propriedades do produto e do processo para remanufatura. O conjunto dessas recomendações é um bom indicativo para a tomada de decisões durante o processo de desenvolvimento de produtos remanufaturáveis, com informações pertinentes sobre a capacidade e restrições técnicas do processo de remanufatura relacionadas ao redesign de produtos.

Com relação aos aspectos de DFRem, a interação o produto e processo de remanufatura é considerada como prioritária pelos autores estudados, indicando que as preocupações ambientais dos ciclos de vida possíveis do produto parece ser uma preocupação secundária. No entanto, é importante ressaltar que de certa forma todos os estudos tratam das questões ambientais, uma vez que este é um dos objetivos implícitos da remanufatura.

Concordando com Zwolinski e Brissaud (2008), a desmontagem é certamente o principal aspecto a considerar para a diminuição de custos e de problemas técnicos para produtos que terão mais de um ciclo de uso, como no caso da remanufatura. Nesse caso, a modularidade é o principal fator a considerar para maximização da desmontagem, remodelação, manutenção e posterior remontagem.

Mediante a análise realizada nas ferramentas proposta para garantir a remanufatuabilidade do produto, percebeu-se que as mesmas geralmente destinam-se a produtos já existentes, pois para empregá-las é necessário informações das características técnicas do produto que estão disponíveis somente quando o produto existe, como por exemplo, a avaliação da capacidade de peças e conexões para serem limpas, reparadas e restauradas. Para orientar ou medir a remanufaturabilidade de um produto em desenvolvimento a aplicabilidade de algumas dessas ferramentas não é indicada.

O quadro a seguir apresenta um resumo dos trabalhos revisados, apontando as abordagens priorizadas, bem como os métodos e ferramentas propostas. Considera ainda o foco do estudo, se por aspectos técnicos de remanufaturabilidade e/ou por aspectos ambientais do ciclo de vida do produto (CVP).

<b>Autores</b>	<b>Método /Ferramenta</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Téc</b>	<b>CVP</b>
Amezquita et al (1995),	Especificações de Design para Remanufatura.	Oferecer orientação sobre as especificações técnicas mínimas que uma peça ou produto deve atingir para ser remanufaturável.	x	
Ijomah et al (2007)	Lista de características de design que podem dificultar ou auxiliar a remanufatura.	Identificar, mediante consulta a especialistas, as diferentes características de design que dificultam e que auxiliam a remanufatura.	x	
Ijomah (2009)	Lista de diretrizes para orientar o DFRem	Relaciona as características de design que auxiliam a remanufatura.	x	x
Shu e Flowers (1995);	Comparação do custo da remanufatura com outros custos de fim de vida	Estudo comparativo para definir a vantagem da remanufatura sobre outras estratégias de fim de vida com base nos tipos de juntas e fixadores.	x	x
Shu e Flowers (1999)	Aplicação de métodos de DFX para projetar produtos remanufaturáveis.	Requisitos de design para melhorar o processo de remanufatura	x	x
Rose; Beiter; Ishii (1999)	Software ELDA ferramenta baseada na web para avaliação das estratégias de fim de vida do produto	Características comuns dos produtos e das melhores práticas das estratégias de fim de vida utilizadas	x	x
Sundin (2004); Sundin e Lindahl (2008); Sundin; Lindahl; Ijomah (2009)	Matriz RemPro - Remanufacturing Property Matrix, a remanufatura avaliada como apoio essencial a estratégia de PSS	Características de remanufaturabilidade de produtos que servem como orientações gerais em design de produtos	x	
Armocost;	Uso do QFD para	Estima a relação entre	x	

Balakrishnan; Pet-Armacost (1999); Puglieri (2009)	ajudar a projetar produtos remanufaturáveis	requisitos técnicos de remanufaturabilidade com as exigências do cliente		
Berko-Boateng et al (1993)	Apresenta uma estrutura que descreve fases e atividades para o projeto de produtos com aplicação DFE	As estratégias de fim de vida incorporadas ao PDP da empresa com o uso de check-lists para cada fase do processo	x	x
Zwolinski e Brissaud (2008)	Uso do aplicativo REPRO2 que fornece um o perfil do produto remanufaturável (características)	Determina os principais critérios para o produto remanufaturável.	x	x
Bras e Hammond (1996)	Baseada no estudo de parâmetros em DFA	Propõe métricas para avaliar a remanufaturabilidade de produtos	x	
Hacco e Shu (2002); Vakili e Shu (2001)	O estudo de organismos e processos naturais para encontrar soluções de projeto para remanufatura. (Biônica)	Faz analogias biológicas para gerar soluções em design de produtos remanufaturáveis	x	
Barker e King (2007)	Remanufacturing Design Plataform Model (RDPM). Critérios de design baseados na lógica para o design de produtos remanufaturáveis.	Investiga as alternativas das estratégias de design e os pontos no processo em que as decisões sobre fim de vida são feitas e outros fatores que as influenciam.	x	
Mangun e Thurston (2002)	Modelo de decisão de projeto para reutilização, remanufatura ou reciclagem.	Ajuda a determinar quando o produto deve retornar, quais componentes devem ser reutilizados, reciclados ou eliminados. Propõe facilitar a decisão sobre fim de vida, custo e impacto ambiental.	x	
Sherwood e Shu (2000)	Uso adaptado da FMEA para conceber produtos remanufaturáveis.	Faz a avaliação dos modos de falhas de peças para remanufatura	x	
Ijomah, Childe; McMahon (2004)	IDEF0 modelo analítico do processo de negócio de remanufatura. Técnica de modelagem	Identificar as atividades do sistema (processo de negócio de remanufatura), como	x	

	que ilustra componentes e fluxos de um sistema.	são realizadas e os erros e acertos do sistema existente.		
--	---	---	--	--

Quadro 14 : Resumo dos principais trabalhos estudados.

Fonte: Revisão da literatura

De acordo com o Quadro 14, foram observadas duas principais preocupações com relação às pesquisas na área de design para manufatura:

- Desenvolver modelos, regras ou diretrizes para apoio ao design considerando as limitações e as propriedades do processo de manufatura e;
- Desenvolver ferramentas que permitam avaliar a manufaturabilidade do produto.

Nota-se, portanto, que a prioridade dada pelos pesquisadores está na avaliação do design original de um produto existente, com o fim de propor melhorias e estabelecer critérios de manufaturabilidade para os produtos.

Entre os trabalhos analisados se destaca o de Amezcua et al (1995), enquanto fornece conhecimentos específicos sobre os requisitos técnicos e ambientais de manufaturabilidade de produtos, que incluem informações do processo de manufatura relacionadas com o processo de design. Este trabalho impulsionou o interesse de outros pesquisadores quanto à preocupação em desenvolver requisitos e critérios de manufaturabilidade para orientar o DFRem.

Observou-se ainda que ao mesmo tempo em que os autores recomendam desenvolver produtos desde a fase inicial de design para possuir características de manufaturabilidade, os mesmos não apresentam propostas de como isso poderia ser feito, em que momento do processo de desenvolvimento de produtos as recomendações, técnicas e métodos desenvolvidos por eles deveriam ser inseridas durante o processo de design ou redesign do produto. Não foram encontradas propostas de métodos ou processos de design para o desenvolvimento de produtos manufaturáveis.

Provavelmente isto ocorre porque os autores consideram que as recomendações de DFRem podem ser integradas ao modelo de desenvolvimento de produtos adotado por uma empresa e assim, desenvolver produtos manufaturáveis, ou porque neste momento se priorizam o desenvolvimento de diretrizes e métricas para manufatura, dadas as dificuldades de se encontrar parâmetros de

remanufaturabilidade para orientar o desenvolvimento de produtos. Ijomah (2009) comenta sobre a necessidade de se desenvolver uma metodologia própria para o design de produtos remanufaturáveis, apresentando, inclusive, este como importante objetivo para trabalhos futuros.

Portanto, é importante que se adote métodos e ferramentas de apoio a realização das atividades de DFRem, a fim de melhorar a eficiência e a eficácia do processo de desenvolvimento de produtos remanufaturáveis, principalmente considerando que, no caso da remanufatura, o produto será desmontado no seu fim de vida para reaproveitamento. As características técnicas de remanufatura são bem específicas com relação a durabilidade, limpeza e substituição de peças e componentes, logo o produto precisa estar projetado especialmente para atender a essas especificações.

Quanto aos aspectos que caracterizam o produto remanufaturável, estes são listados no item 3.2. Na análise desses elementos, foram identificadas como os principais elementos que caracterizam o produto remanufaturável: (i) limpeza; (ii) necessidade de identificação das peças; (iii) orientações sobre desmontagem, tendo os fixadores como questão central neste processo; (iv) inspeção e testes; (v) materiais, formas e princípios modulares apropriados para repetitivas remanufaturas. No entanto, o Quadro 07 que contém as diretrizes de design para remanufatura é mais completo, pois abrange todos os aspectos de design que envolve o processo e o produto remanufaturável e, por este motivo, será utilizado como referência para a elaboração da sistemática.

Uma vez relacionadas as diretrizes para orientar o processo de adaptação do produto para a remanufatura, o próximo passo para realizar o redesign do produto, objetivo primeiro desta tese, é organizar essas diretrizes em um conjunto de procedimentos sistemáticos que ofereçam orientações e parâmetros para o redesign de produtos remanufaturáveis. Assim sendo, os requisitos definidos para orientar estruturação da sistemática foram:

- A sistemática deve oferecer meios, métodos e procedimentos que devem orientar adequadamente o redesign do produto remanufaturável;
- A sistemática deve considerar as limitações e propriedades do produto e do processo para remanufatura para o redesign de produtos remanufaturáveis;

- A sistemática deve possuir uma representação gráfica adequada para orientar o processo de redesign de produtos remanufaturáveis.

A partir disso, e com base no Quadro 07 do item 3.3, os requisitos e as diretrizes de redesign para a remanufatura foram especificados a fim de orientar a formulação da estrutura da sistemática de ReDFRem e do seu conteúdo, conforme apresenta o Quadro 15.

O método utilizado para desenvolver os requisitos foi baseado em um método proposto por Pahl e Beitz (1984) que divide os requisitos em categorias principais e subcategorias. Cada uma das subcategorias tem uma breve descrição das especificações mínimas necessárias para promover a remanufatura, que deve ter um design de peças que considere: as propriedades do produto e do processo de remanufatura; as etapas do processo de remanufatura; o uso de ferramentas e métodos de apoio ao design de produtos; o uso de orientações do redesign para remanufatura; as regras de limpeza; regras de design para desmontagem; oferecer condições para a atualização do produto; os fatores ambientais durante o redesign do produto.

<b>Requisitos</b>	<b>Subcategorias</b>	<b>Especificações (Diretrizes)</b>
Oferecer meios, métodos e procedimentos planejados e organizados a fim de orientar o redesign do produto remanufaturável.	Considerar as propriedades do produto remanufaturável	- Considerar para reuso materiais, fixadores, juntas e a estrutura do produto original; - Considerar componentes modulares, componentes padrão e desenhos que facilitem o processo de remanufatura; - Considerar o uso de materiais que sobrevivam ao processo de desmontagem, limpeza e remontagem.
	Considerar as etapas do processo de remanufatura	- Considerar a desmontagem, remontagem, limpeza, a troca e a recuperação e inspeção de peças; - Considerar a identificação dos materiais e peças, bem como a padronização de componentes, fechamentos e interfaces, e a verificação de desgaste e de corrosão;
	Utilizar ferramentas e métodos de apoio para o desenvolvimento de	- Propor o desenvolvimento de guias para a desmontagem do produto;

	produtos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fazer uso de requisitos de redesign para serem utilizados no design de partes e peças de produtos para remanufatura;</li> <li>- Utilizar orientações de design para montagem (DFM) e design para desmontagem (DFD);</li> <li>- Fazer uso das melhores práticas de DFRem para apoio ao desenvolvimento de produtos remanufaturáveis.</li> </ul>
	As orientações de DFRem devem conduzir a adequação de produtos para a remanufatura	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Considerar a seqüência dos procedimentos para o redesign do produto (fases, tarefas e atividades);</li> <li>- Considerar as informações das especificações técnicas do produto original (estrutura, materiais, tecnologia, etc);</li> <li>- Os meios/caminhos propostos devem conduzir para o redesign de um produto remanufaturável;</li> <li>- Oferecer pontos de verificação com os quais se possa monitorar o progresso da adequação do produto à remanufatura.</li> </ul>
Considerar as limitações e propriedades do produto e do processo para remanufatura para o redesign de produtos remanufaturáveis.	Considerar regras de design para a etapa de limpeza	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Depósitos de impurezas e de outros materiais facilmente removíveis sem causar danos para as peças;</li> <li>- Marcações nas peças resistentes a limpeza, com superfícies lisas e resistentes ao desgaste;</li> <li>- Propor desenhos de peças que sejam de fácil acesso para a limpeza de reentrâncias, cantos e cavidades ou se deve evitá-los completamente.</li> </ul>
	Considerar regras de design recomendadas para a desmontagem	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sistemas de fixação que facilite a substituição e reutilização de peças;</li> <li>- Desenhos relativamente simples que facilitem o</li> </ul>

		<p>processo de remanufatura;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Considerar os procedimentos de montagem do produto original;</li> <li>- Considerar a desmontagem não-destrutiva e previne que peças principais não sejam danificadas.</li> </ul>
	Oferecer condições para atualização do produto durante o redesign	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Considerar a atualização estética do produto;</li> <li>- Considerar a atualização e adaptação a mudanças tecnológicas;</li> <li>- Facilitar a inserção de novas funções.</li> </ul>
	Fazer considerações ambientais durante o redesign do produto	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Considerar o reaproveitamento e reciclagem de materiais;</li> <li>- Considerar a redução de emissões, do consumo de energia, da geração de resíduos: uso de agentes de limpeza amigáveis ao meio ambiente;</li> <li>- Considerar que componentes perigosos devem ser facilmente identificados e removíveis.</li> </ul>
	Considerar que o produto terá mais de um ciclo de vida	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Produto projetado para ser reconstruído com componentes reutilizáveis;</li> <li>- Fazer design o mais modular possível, com separação de funções;</li> <li>- Considerar que peças não recicláveis devem ser rapidamente removidas ou descartadas;</li> <li>- Considerar as operações de verificação de desgaste e de corrosão das peças.</li> </ul>
	Considerar a reutilização de peças	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Considerar que peças e subconjuntos conectados não separáveis sejam do mesmo material;</li> <li>- Utilizar materiais compatíveis, duráveis e se possível recicláveis;</li> <li>- Considerar os dados sobre as</li> </ul>

		propriedades dos materiais e dos limites de cargas; - Considerar dados sobre tolerâncias e ajustes.
	Considerar as especificidades de juntas e fixadores	- Considerar o uso de fechos ajustáveis facilmente desmontáveis e fácil de localizar, e o uso de fixadores de material compatível com as peças conectadas; - Minimizar o número de elementos de fixação e conexões; - Eliminar o uso de adesivos, exceto aqueles compatíveis com ambas as peças unidas
Possuir uma representação gráfica adequada	Interpretação	- Simples - fácil de usar; - Objetivo – o fim que se quer atingir, no caso, realizar o redesign de um produto remanufaturável; - Exatamente definido - não contém dúvidas quanto ao seu entendimento;
	Organização	- Ilustrar todos os componentes e os fluxos existentes no sistema, identificando fases e atividades; - Possuir boa combinação de todos os elementos orientados ao objetivo que se propõe; - Possibilitar a realização do redesign do produto de forma sistemática

Quadro 15: Orientações e parâmetros para a formulação da estrutura da sistemática de ReDFRem.

Os elementos descritos no Quadro 15 servem como índice para a formulação da estrutura da sistemática e também como referência para sua avaliação posterior. No próximo capítulo é apresentada a Sistemática de Redesign para Remanufatura, bem como os passos adotados para sua estruturação.

## 4 DESENVOLVIMENTO DA SISTEMÁTICA DE REDESIGN PARA REMANUFATURA

Este capítulo apresenta a Sistemática de DFRem para adaptação de produtos à remanufatura, que se destina as equipes de desenvolvimento para realizar o redesign de produtos remanufaturáveis. A sistemática proposta também se destina as empresas chamadas OEM ou aquelas que têm acesso as informações técnicas de fabricação do produto.

Inicialmente se apresenta um glossário de termos usados no modelo. Após, se faz uma exposição geral sobre o que se considerou para desenvolver o modelo, assim como o princípio básico do mesmo. Finalmente se descreve a sistemática baseando-se no processo de redesign de produtos. Cada fase é apresentada e posteriormente descrita.

### 4.1 GLOSSÁRIO DE TERMOS

Neste item se apresentam os termos empregados durante o desenvolvimento da sistemática proposta. As definições foram estabelecidas e/ou adaptadas a partir da revisão da literatura.

***Requisitos de redesign para remanufatura:*** são declarações que especificam as características do produto remanufaturável considerando as necessidades dos clientes e aspectos técnicos, ou seja, é o que o produto deverá ter para atender plenamente ao propósito para o qual será criado que, neste caso, ser facilmente remanufaturado (REAL, 2007).

***Diretrizes de redesign para remanufatura:*** conjunto de recomendações em remanufatura para auxiliar a tomada de decisões durante o design de um produto remanufaturável (AMEZQUITA et al, 1995).

***Requisitos dos clientes:*** necessidades dos clientes organizadas, categorizadas e estruturadas (REZENFELD et al, 2006).

***Estrutura física:*** representa a materialização de um conjunto de funções que o produto tem que satisfazer (REAL, 2007).

***Sistema físico existente:*** o produto original (DUFOR, 1996).

***Funções:*** representa aquilo que o produto deverá fazer (REAL, 2007).

***Especificações de redesign:*** conjunto de informações que refletem as características que um produto deverá ter para atender as necessidades dos clientes e de remanufatura (ROZENFELD et al, 2006).

**Estrutura funcional do sistema:** Representação hierárquica e estruturada da lista de funções que o produto deve possuir (ROZENFELD et al, 2006).

**Especificações de design detalhado do produto original:** documentação de produção do produto original que trás as especificações de cada um dos detalhes de todas as peças que compõem o produto, um plano de montagem e uma lista detalhada de todos os desenhos e detalhes técnicos de componentes e peças (DUFOUR, 1996).

**Conceito final do produto remanufaturável:** proposta construtiva e formal de uma solução que realiza as funções do produto (REAL, 2007).

**Configuração do produto remanufaturável:** representação da distribuição global e definitiva do produto que fornece uma visão geral da montagem, componentes e peças, formas geométricas, dimensões, materiais e processos de fabricação (DUFOUR, 1996).

**Produto Remanufaturável:** produto que possui características de remanufaturabilidade.

#### 4.2 MODELAGEM INICIAL DO SISTEMA

Para o desenvolvimento da sistemática se considerou como princípio a técnica de modelagem apresentada por Ijomah, Childe; McMahon (2004), na qual se procurou ilustrar os componentes e os fluxos existentes no sistema, identificando as atividades principais executadas nesse domínio (Figura 27).



Figura 27: Domínio da sistemática

Fonte: Adaptado de Ijomah, Childe; McMahon (2004)

No centro, na caixa de atividades, é identificado o objetivo maior do processo definido por um verbo que, neste caso, seria ‘realizar’ o redesign do produto para remanufatura. A descrição do domínio da sistemática está assim composta:

- **Entrada** - produto avaliado e apto para ser adaptado para remanufatura;
- **Controle** - trata-se das restrições ou regras que regem as condições do redesign, neste caso, está composto pelas diretrizes e recomendações do DFRem, identificadas no capítulo 2, provenientes das características técnicas do produto e das atividades realizadas durante o processo de remanufatura e mais as informações de especificações do produto original;
- **Mecanismos** - meios pelos quais a atividade é realizada que são as ferramentas do DFE (conceito do ciclo de vida), e o processo de redesign em si relacionado às atividades de desenvolvimento;
- **Saída** - produto redesenhado para remanufatura ou produto remanufaturável.

Esses elementos fornecem uma primeira visualização do sistema e ajudam a delimitar sua abrangência. Os aspectos detectados a partir de tais elementos são fundamentais para o desenvolvimento da sistemática, pois permitem delinear os procedimentos para elaboração das atividades pertinentes a cada fase do processo de redesign para remanufatura. O foco está nas atividades de redesign e na sua interação com os outros elementos do sistema. A seguir, apresenta-se o desdobramento da sistemática proposta (Figura 28).

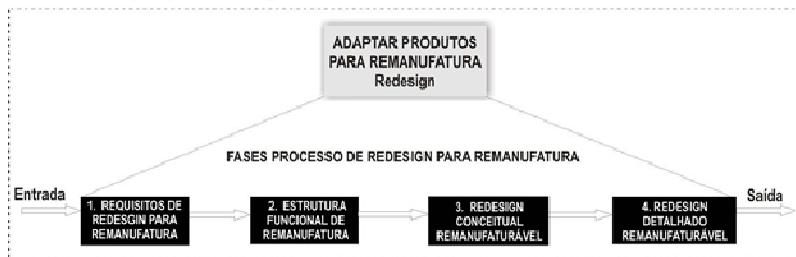


Figura 28: Fases do processo de redesign de produtos para Remanufatura

O objetivo do processo de redesign para remanufatura é adaptar ou redesenhar produtos para remanufatura. Para se alcançar este propósito, o processo de redesign foi definido em fases e posteriormente desdobrado em atividades.

As atividades propostas para as quatro fases do processo de redesign são ilustradas na Figura 29.

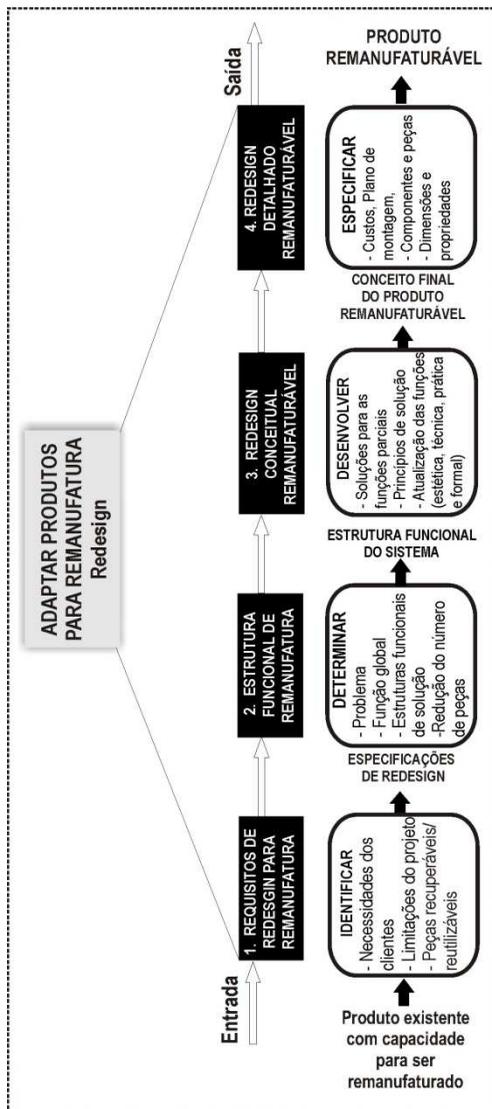


Figura 29: Identificação das atividades das fases do Processo de Redesign para Remanufatura

As fases do processo ficaram assim definidas: (i) Fase 1 Requisitos de Redesign para Remanufatura, em que se define uma nova

lista das especificações de redesign para remanufatura; (ii) Fase 2 Estrutura Funcional de Remanufatura, momento que se determina uma nova estrutura funcional do produto a fim de torná-lo remanufaturável; (iii) Fase 3 Redesign Conceitual Remanufaturável, se desenvolvem soluções para as funções parciais de remanufatura, definindo qual das soluções propostas apresenta a melhor concepção de redesign para remanufatura, e desdobra-se os princípios de solução em sistemas, subsistemas e componentes, para se definir a arquitetura do produto; (iv) Fase 4 Redesign Detalhado Remanufaturável, especificam-se componentes, capacidades, dimensões, desgaste, detalham-se as peças e se estabelecem as tolerâncias, materiais, acabamentos, processos de fabricação, montagem e transporte.

Cada atividade é definida com uma ação traduzida em forma de verbo para determinar o que deve ser realizado em cada fase, e assim facilitar a obtenção das informações necessárias para realizar o redesign. Deste modo, a atividade inicial é 'identificar' as necessidades dos clientes e as limitações do projeto, estes resultarão nas especificações de redesign do produto que será adaptado para remanufatura.

A atividade seguinte é 'determinar' o problema, a função global e as estruturas funcionais de solução que culminará na estrutura funcional do sistema. O passo seguinte é 'desenvolver' princípios de solução para o conceito final do produto remanufaturável. 'Definir' componentes e peças, formas, dimensões e geometria resultando na configuração do produto remanufaturável é a quarta atividade do processo e, finalmente, se pode 'especificar' um plano de produção para o produto remanufaturável que contém todo o detalhamento e especificações para a produção do produto.

O esquema apresentado na Figura 29 fornece uma visão geral das fases do processo, servindo como um instrumento para facilitar as atividades de planejamento e controle do redesign para remanufatura. Conforme o princípio de modelagem utilizada, cada fase recebe informações que dão início as atividades, estas recebem uma forma de controle (restrições) e de mecanismos ou apoio (ferramentas) para sua execução.

Adicionando-se os outros componentes e fluxos existentes no sistema e as atividades principais executadas neste domínio, tem-se o modelo da Sistemática para o Redesign de Produtos para Remanufatura (Figura 30).

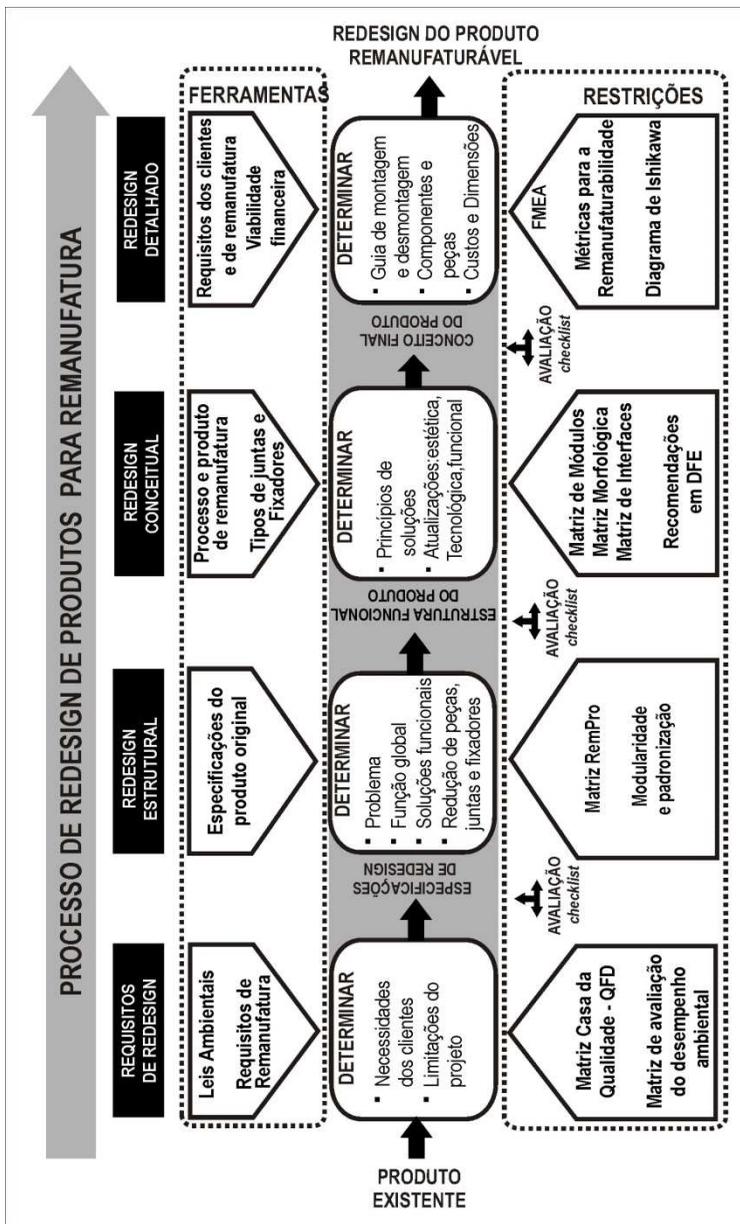


Figura 30: Proposta Preliminar da Sistemática de Redesign de Produtos para Remanufatura

Na próxima seção, se apresenta cada fase com a descrição das atividades, componentes e fluxos da Sistemática de ReDFRem (*Redesign for Remanufacture*)

### 4.3 DESCRIÇÃO DA SISTEMÁTICA

Segundo a estrutura da Figura 30, as fases propostas para a sistemática são definidas a partir de um ordenamento, a saber:

**Fase 1- Requisitos de Redesign para Remanufatura:** definição de uma nova lista das especificações de redesign para remanufatura (Figura 31).

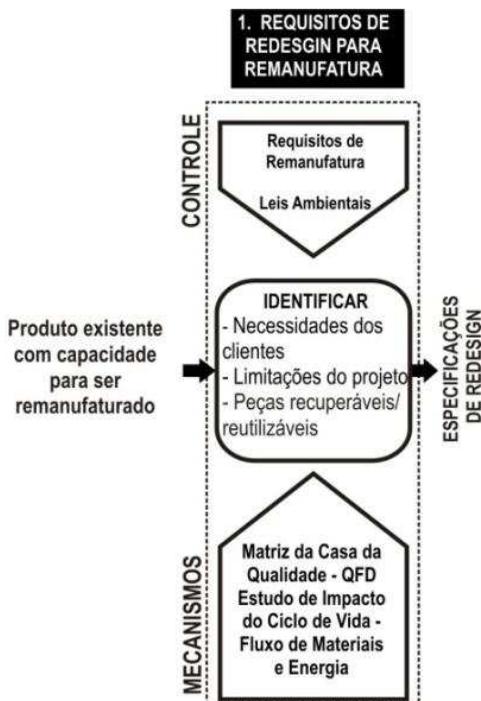


Figura 31: Fase 1- Requisitos de Redesign para Remanufatura

A entrada para esta fase são as informações provenientes da avaliação da capacidade do produto original a ser remanufaturado. Para esta atividade sugere-se a utilização de uma check-list com os seguintes questionamentos: (i) O produto pode ser remanufaturado? (ii) Como gerenciar o produto para torná-lo facilmente remanufaturável? (ZWOLINSKI e BRISSAUD, 2006); (iii) Alguém quer comprar o produto que será remanufaturado? (iv) O custo que será utilizado no seu

redesign pode ser recuperado e retorna a um preço razoável? (v) Existe um acesso regular a este produto depois de usado? (GUIDE JR e VAN WASSENHOF, 2009). Ao se responder a essas questões se teria um direcionamento para decidir sobre remanufaturar ou não um produto.

A Fase 1 se inicia, portanto, com a identificação das necessidades dos clientes e com as limitações do projeto. As limitações do projeto são dadas pelas leis ambientais e pelos Requisitos de Design para Remanufatura (Quadro 07). Para questões ambientais e do ciclo de vida do produto (considerando mais de um ciclo de uso), se faz um estudo do impacto ambiental considerando o fluxo de materiais e de energia. Para esse estudo, recomenda-se a Matriz de Análise Ambiental do Produto (Tabela 01) e a Matriz de Análise Ambiental do Processo (Tabela 02), apresentadas no Capítulo 2 desta pesquisa, que permitem avaliar o produto e seu processo de um ponto de vista ambiental e que também auxilia a tomada de decisão quanto às diferentes alternativas para cada etapa do ciclo de vida do produto. Trata-se de uma forma resumida de avaliação do ciclo de vida do produto, pois uma ACV completa, neste caso, não seria a mais indicada, tendo em vista que este é um processo complexo e demorado.

Quanto ao estudo do fluxo de material e energia, este é importante para avaliar a toxicidade dos materiais utilizados durante a fabricação, operação, descarte e a remanufaturabilidade do produto, assim como para prever os resíduos produzidos durante as várias etapas do fluxo de material. Uma técnica recomendada para auxiliar as equipes de desenvolvimento seria a utilização de um fluxograma para ilustrar resíduos e energias gerados durante o ciclo de vida do produto, conforme apresentado por Hundal (2000) no capítulo 3 deste estudo. Com relação às necessidades dos clientes, estas são obtidas aplicando a Matriz da Casa da Qualidade (QFD), incorporando as preocupações do processo de remanufatura para orientar o processo de redesign, conforme proposta de Armacost; Balakrishnan; Pet-Armacost (1999) ilustrada também no capítulo 3. Os resultados dessas atividades principais resultarão na lista de especificações de redesign.

***Fase 2 - Estrutura Funcional de Remanufatura:*** momento que se determina uma nova estrutura funcional para o redesign do produto a fim de torná-lo remanufaturável (Figura 32).



Figura 32: Fase 2 - Estrutura Funcional de Remanufatura

Nesta fase se determina o problema para tornar o produto remanufaturável, definindo que peças serão remodeladas ou substituídas, qual será o núcleo remanufaturável do produto, bem como um primeiro plano para a desmontagem é estruturado. Essas informações ajudarão na definição de uma estrutura funcional de solução para o sistema remanufaturável. A entrada corresponde a lista de especificações de redesign, cujas limitações são as especificações do design detalhado do produto original bem como sua estrutura física. Os mecanismos sugeridos para esta fase são o método da síntese funcional e a matriz RemPro.

Conforme apresentado no capítulo 2, o método de síntese funcional ou árvores de funções, relaciona por meio de fluxos de energia, materiais e sinais o sistema técnico com a física do problema, em que se determinam as ações necessárias para formular uma função total do sistema, bem como as ações necessárias para substituir esta função total por estruturas de funções parciais ou elementares, conforme objetivos de remanufatura para o redesign do produto existente.

Estabelecendo ainda a função técnica geral e definindo as entradas e as saídas do sistema.

A *Remanufacturing Property Matrix* – matriz RemPro (Sundin, 2004), Quadro 12 do capítulo 3, é utilizada para avaliar as propriedades do produto que são adequadas às etapas de remanufatura, para estabelecer qual estágio do processo de remanufatura é problema para o produto em processo de redesign. A matriz serve como um guia para indicar as características do produto que poderiam ser melhoradas pelo projeto de redesign. Após essa avaliação, se podem desenvolver as estruturas funcionais de solução para o sistema.

**Fase 3 - Redesign Conceitual Remanufaturável:** se desenvolve soluções para as funções parciais de remanufatura (Figura 33).

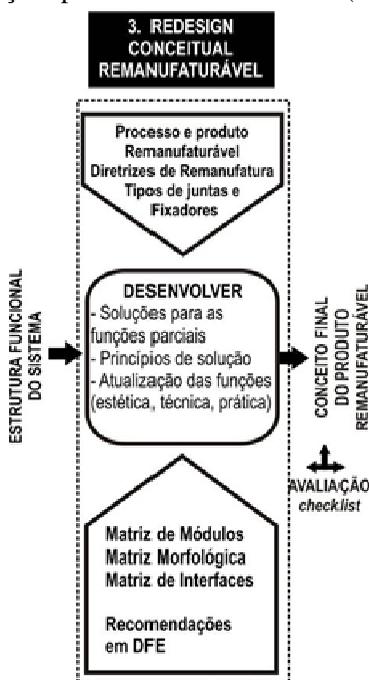


Figura 33: Fase 3 - Re-design Conceitual Remanufaturável

De posse da estrutura funcional, se definem as etapas do processo de remanufatura que o produto irá passar. As diretrizes de remanufatura (Quadro 07) e as etapas de remanufatura definidas limitarão as atividades de desenvolvimento dos princípios de solução, pois deve-se levar em conta que o produto deverá ser fácil para desmontar, limpar, para fazer inspeção e controle, substituir peças e ainda possuir

componentes reutilizáveis, facilidade de remontagem, além da padronização de componentes, fechamentos e interfaces. Todos esses aspectos devem ser levados em consideração durante o desenvolvimento de soluções.

Posteriormente, defini-se qual das alternativas propostas apresenta a melhor concepção de redesign para remanufatura, então, desdobram-se os princípios de solução em sistemas, subsistemas e componentes, para se definir a arquitetura do produto.

Nesta fase se busca definir qual das alternativas propostas apresenta a melhor concepção em termos de remanufaturabilidade. Um esquema gráfico é definido, em que se identifica a interação das interfaces entre peças e componentes. Busca-se pelo conceito modular que facilita a desmontagem e inspeção de partes e componentes, favorecendo a modificação e a troca de peças sem comprometer a estrutura global do sistema. As ferramentas de apoio a realização desta atividade são: Matriz Indicadora de Módulos, Matriz de Interfaces, Matriz de morfológica (todas já apresentadas no capítulo 3) e as recomendações do DFE (Quadro 02 do Capítulo 2), que poderão ser aplicadas durante o redesign de produtos para alcançar os requisitos ambientais. O uso e aplicação de tais estratégias são definidas a partir das especificidades e características do produto a ser redesenhado para remanufatura.

***Fase 4 Redesign detalhado Remanufaturável:*** especificam-se componentes, capacidades, dimensões, desgaste, detalham-se peças e se estabelecem as tolerâncias, materiais, acabamentos, processos de fabricação, montagem e transporte (Figura 34 34).

Nesta fase são especificados os planos de montagem e desmontagem, as dimensões e propriedade de componentes e peças. Os requisitos dos clientes e de DFRem e as especificações de design do produto original são os fatores que limitam esta fase. Todas as informações técnicas do produto original são utilizadas para se definir tolerâncias e características dos componentes e materiais que o produto remanufaturável deverá ter. A viabilidade financeira e os elementos e métodos de união entre peças controlam as atividades de dimensionamento e de definição dos elementos funcionais do produto.

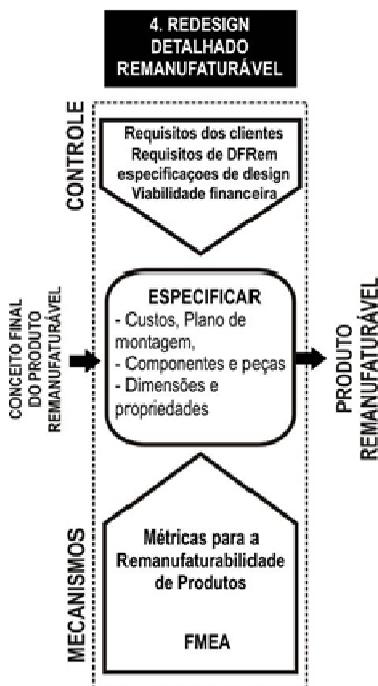


Figura 34: Fase 4 - Re-design detalhado Remanufaturável

As métricas para a remanufaturabilidade e a FMEA são ferramentas sugeridas, esta última ajuda a identificar os obstáculos para a reutilização de peças e para desenvolver estratégias de design para uma Remanufatura mais eficiente. Ao final desta fase são elaborados os documentos de produção.

Acredita-se que a sistemática não será aplicável em sua totalidade para todo o tipo de produto, tendo em vista que uma empresa pode optar em remanufaturar o produto ou apenas parte dele, como no caso da indústria automotiva. Isto significa que as fases e atividades descritas poderão variar dependendo do produto a ser remanufaturado, variando também o uso das ferramentas e as restrições. É importante frisar que as fases e atividades descritas são preliminares, e que algumas atividades e ferramentas deverão ser acrescentadas conforme as recomendações feitas durante a avaliação da sistemática.

O próximo capítulo desta pesquisa trata da metodologia de avaliação da Sistemática de ReDFRem. Após, será apresentado o resultado das avaliações feitas por especialistas.

## **5 METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DA SISTEMÁTICA DE REDESIGN PARA REMANUFATURA.**

Realizada a revisão bibliográfica sobre os métodos, ferramentas e técnicas existentes de remanufatura e a elaboração da sistemática Redesign para Remanufatura - ReDFRem, foi feita a revisão dos possíveis instrumentos de coleta de dados existentes para a escolha dos métodos que irão atender os objetivos desta etapa do estudo, no caso, a avaliação da sistemática proposta. O tipo de pesquisa utilizado é a pesquisa de campo, aplicada a especialistas da área acadêmica e industrial. Espera-se, a partir de informações consistentes e objetivas fornecidas pelos entrevistados, buscar o consenso de opiniões quanto a viabilidade do uso da sistemática para realizar o redesign de produtos para remanufatura, considerando as atividades e procedimentos estabelecidos no modelo. Além disto, busca-se por possíveis falhas e limitações no mesmo a fim de realizar ajustes e melhoramentos.

Os critérios de escolha da amostragem, a técnica de coleta e tratamento de dados bem como os critérios de avaliação da sistemática são descritos a seguir.

### **5.1 MATERIAIS E MÉTODOS**

A pesquisa de campo, para Marconi e Lakatos (2008), pode ser classificada em: (i) Descritiva, que é uma pesquisa quantitativa que usa técnicas de coleta de dados que envolvem entrevistas, questionários e formulários; (ii) Exploratória, que procura aprofundar o conhecimento do pesquisador sobre um determinado assunto estudado, ou na formulação mais precisa dos problemas de pesquisa (MATTAR, 1996), e que usa como método de coleta de dados questionários, entrevistas e observação participante, e; (iii) Experimental, que objetiva testar uma hipótese e pode ser realizada tanto em campo quanto em laboratório. Os estudos experimentais incluem grupo de controle, seleção de amostra probabilística e manipulação de variáveis independentes a fim de controlar ao máximo os fatores pertinentes (MARCONI e LAKATOS, 2008).

Como o objetivo desta etapa da pesquisa é avaliar a sistemática proposta com o intuito de detectar possíveis falhas e fazer o aperfeiçoamento e os ajustes necessários na mesma, contribuindo para a reformulação e melhora dos procedimentos e conceitos estabelecidos no sistema e, portanto, verificando sua viabilidade enquanto modelo de orientação projetual, ela pode ser considerada de natureza exploratória. O tipo de amostra selecionado é intencional (OLIVEIRA, 1997),

considerando as empresas que fazem parte do Pólo Industrial de Manaus – PIM, localizado no estado do Amazonas, como campo de estudo, visto que este é um dos mais importantes parques fabril da América Latina e que abastece o mercado brasileiro com os mais variados tipos de produtos, que vai de televisores e bebidas a motocicletas e computadores. A seguir, apresenta-se a caracterização do campo de estudo e a seleção da amostragem da pesquisa.

### **5.1.1 Caracterização e justificativa do campo de estudo selecionado – O Pólo Industrial de Manaus**

Criada no meio da selva amazônica como um centro comercial e industrial, a Zona Franca de Manaus surgiu em 1967 como um centro financeiro implantado pelo governo federal para viabilizar uma base econômica na Amazônia Ocidental, a fim de promover a integração produtiva e social dessa região ao restante do país. É tida como um dos modelos mais bem-sucedidos de desenvolvimento regional, que integra o crescimento econômico à proteção ambiental, e que favorece a melhora da qualidade de vida das populações daquela região (SILVA e OLIVEIRA, 2004).

A Zona Franca de Manaus apresenta um Pólo Comercial, um Pólo Agropecuário e um Pólo Industrial, este último, incentivado por isenção alfandegária, tornou-se o pólo mais expressivo e conta atualmente com mais de 400 indústrias instaladas e produzindo. O Pólo Industrial de Manaus – PIM gera quase 100 mil empregos diretos e 450 mil indiretos, e outros 60 mil nos demais estados da região.

Segundo indicadores de desempenho do PIM elaborados pela Superintendência da Zona Franca de Manaus - SUFRAMA, nos sete primeiros meses de 2010 o pólo faturou o montante de US\$ 18,57 bilhões, valor 48,63% maior que o do mesmo período de 2009, que foi de US\$ 12,49 bilhões. Já as exportações chegam a US\$ 629,12 milhões. Isto representa um crescimento de 40,38% se comparado a igual período do ano anterior, que foi de US\$ 446,05 milhões. O número de empregos gerados em julho foi 98.969, aproximadamente 10.500 empregos a mais que o número registrado em julho de 2009, que foi de 88.408 empregos (SUFRAMA, 2010c).

Os setores que mais se destacaram nos sete primeiros meses de 2010 foram os de Eletroeletrônico, de Duas Rodas e o Químico. O primeiro participa atualmente com 34,52% do total do faturamento do Pólo, com o valor acumulado de US\$ 6,4 bilhões, o que representa um aumento de 42,89% em comparação com o mesmo período de 2009.

Logo em seguida aparece o setor de Duas Rodas, com 20,12% e faturamento de US\$ 3,74 bilhões, valor 37,51% maior que o registrado no ano anterior. Em terceiro lugar aparece o setor Químico, que representa 11,70%, com um faturamento de US\$ 2,17 bilhões, um crescimento de 50,01% em relação a igual período de 2009. Vale ressaltar que a produção de motocicletas no PIM apresenta resultados positivos em relação ao ano passado, de janeiro a julho de 2010 foram produzidas 838.000 unidades, valor 6,47% maior do que as unidades fabricadas no mesmo período de 2009 (SUFRAMA, 2010c), com muitas empresas montadoras e seus fornecedores de peças instaladas na própria cidade. A Figura 35 apresenta a participação de todos os setores no faturamento do Pólo Industrial de Manaus no período de janeiro a julho de 2010.

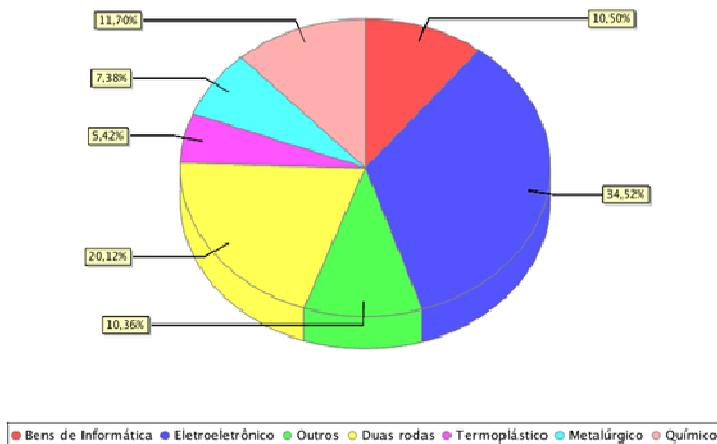


Figura 35: Faturamento do Pólo Industrial de Manaus, até jul de 2010, por setores de atividades

Fonte: Indicadores de desempenho do PIM 2005 – 2010 (SUFRAMA, 2010c).

No que se refere a questão ambiental, segundo um estudo realizado entre o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, o Instituto PIATAM e as universidades federais do Amazonas e do Pará, entre 2000 e 2006, o PIM contribuiu em 70% para a redução do desmatamento na região e das emissões de carbono que, de acordo com os pesquisadores, alcançou uma economia de 10 bilhões de dólares. Isto porque as empresas que fazem parte deste importante parque industrial são pouco demandantes de recursos naturais, se comparadas às

atividades de extrativismo e de pecuária realizadas pelos outros estados da região norte (AGENCIA CÂMARA, 2009).

Um acordo de cooperação técnica entre a SUFRAMA, a Agência Brasileira de Cooperação do Ministério das Relações Exteriores - ABC e Agência Japonesa de Cooperação Internacional - JICA, resultou no “Estudo para o desenvolvimento de uma solução integrada relativa à gestão de resíduos no Pólo Industrial de Manaus”, que revisa as condições de gestão de resíduos sólidos no PIM para propor um Plano Diretor com soluções adequadas para o aproveitamento e destinação de resíduos a ser implementado no período de 2011 a 2015. Com base no princípio dos 3Rs (Reduzir, Reutilizar, Reciclar), o plano estabelece procedimentos visando reduzir o descarte inadequado de resíduos industriais a fim de minimizar impactos ambientais (SUFRAMA, 2010a).

A Resolução 313 do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA (2002) de 29 de outubro de 2002 estabelece, em seu parágrafo primeiro, que “os resíduos existentes ou gerados pelas atividades industriais serão objeto de controle específico, como parte integrante do processo de licenciamento ambiental”. As empresas vinculadas ao PIM para usufruírem dos incentivos fiscais devem possuir obrigatoriamente certificação ambiental e, agora, com a proposta do Plano Diretor da SUFRAMA, deverão se responsabilizar pelo destino e o reaproveitamento adequados de seus resíduos sólidos.

Além disso, com a nova Política Nacional de Resíduos Sólidos, os fabricantes nacionais, importadores, distribuidores e os revendedores de diversos produtos são responsáveis pela coleta nos pontos de venda, acondicionamento, armazenamento, transporte, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final ambientalmente adequados de seus resíduos. Essa nova política traz ainda os conceitos de responsabilidade compartilhada e de logística reversa, em que todos os envolvidos na cadeia de suprimentos são responsabilizados pelo descarte sustentável (MENEZES, 2010).

Assim, conclui-se que, movidas pela legislação ambiental e por incentivos fiscais, as indústrias do PIM deverão procurar por métodos e processos que reduza o impacto ambiental causado pela toxicidade dos materiais utilizados e os resíduos gerados durante a fabricação, a operação e o descarte e, ainda, com a reciclagem e reutilização do produto, como a proposta da sistemática de redesign para a remanufatura apresentada por esta pesquisa.

Diante dos elementos citados anteriormente, justifica-se a escolha das indústrias do PIM como campo de estudo, focalizando nos dois maiores pólos o eletroeletrônico, incluindo os bens de informática, e o de duas rodas, visto que em 2009 juntos somaram 64,36% do faturamento do PIM e 64,41% da mão-de-obra ocupada (SUFRAMA, 2010c), sendo também um grupo representativo da população pesquisada. Ademais, produtos como equipamentos médicos, eletrodomésticos, máquinas e equipamentos para escritório, componentes de carros e eletroeletrônicos são exemplos de produtos remanufaturáveis, conforme referido na revisão bibliográfica. Ainda, considera-se que são as grandes empresas que geralmente empreendem mais recursos e tecnologias para realizar mudanças significativas na realidade socioambiental.

No entanto, é necessário que se defina a amostragem específica para esta pesquisa, conforme será descrito no próximo item.

### **5.1.2 Definição da amostragem da pesquisa**

conhecimento sobre o perfil da população estudada para, só então, se definir um número representativo que forneça as informações sobre cada elemento que se pretende conhecer.

De acordo com Morais (2005), o tamanho da amostra não determina se ela é de boa ou má qualidade, a sua representatividade é mais importante do que o seu tamanho, ou seja, o grau de similaridade com a população em estudo. Para este autor, a dimensão mínima de uma amostra deve ser de 30 unidades estatísticas, no entanto, adverte que o tamanho da amostra depende basicamente (MORAIS, 2005):

- Do grau de confiança que se quer obter nos resultados;
- Do grau de pormenor desejado na análise;
- Dos recursos e tempo disponíveis.

O foco definido para este estudo foi os setores de Eletroeletrônicos e de Duas Rodas do PIM, conforme esclarecido no item anterior. Apesar da maioria das indústrias desses pólos serem de montadoras ou de produtos obtidos com tecnologia estrangeira, algumas realizam projetos de adaptação ou regionalização de peças e produtos, o que abre precedente para a avaliação e uma possível aplicação da sistemática proposta por esta pesquisa. Logo, a amostragem definida é específica de empresas desses segmentos que fazem projetos de adaptação ou regionalização de produtos. Deste modo, a amostragem não é aleatória e sim intencional.

O uso dessa amostra é justificado pelo fato de considerar-se que somente empresas que realizam ou trabalham com o projeto de produto teriam profissionais com conhecimento para avaliar o modelo de redesign para remanufatura, uma vez que estão familiarizados com o uso de modelos e/ou processos de desenvolvimento de produtos.

Para Oliveira (2001) é comum a escolha de profissionais especializados (experts) quando se trata de amostra intencional, pois, segundo a autora, a escolha de especialistas é uma forma de amostragem usada para escolher elementos típicos e representativos para uma amostra.

Para acentuar a representatividade do número de especialistas do universo de pesquisa, profissionais da área acadêmica que realizam atividades ligadas a métodos e processos de desenvolvimento de produtos também serão consultados.

Considera-se ainda que os profissionais de empresas, bem como pesquisadores, são potenciais usuários da sistemática proposta, tendo em vista que realizam atividades ligadas à área de desenvolvimento de produtos. Assim, o conhecimento sobre processos e desenvolvimento de produtos é o principal critério de seleção que influencia o tamanho da amostra utilizada nesta pesquisa.

A seguir, descrevem-se os procedimentos utilizados para realizar a coleta de dados.

### **5.1.3 Método e técnica de coleta de dados**

Neste estudo considera-se que todo modelo de um sistema, ou sistemática, é uma abstração de uma tarefa, ação ou atividade. O que está contido no modelo pode então ser materializado por algum tipo de representação ou estrutura gráfica como, por exemplo, um desenho, um diagrama, um fluxograma, entre outros.

Assim sendo, as atividades representadas na Sistemática de Redesign para Remanufatura poderão ser reproduzidas segundo a capacidade de um indivíduo em interpretar a estrutura do modelo e relacioná-la com o objetivo que se quer realizar, no caso, o redesign de produtos para remanufatura. No entanto, a interpretação do modelo, bem como a sua aplicabilidade, depende da percepção de indivíduos (especialistas) que conhecem as características específicas da atividade que se pretende representar e, conseqüentemente, por eles poderão ser avaliadas uma vez que os mesmo detêm conhecimentos para tal. O pressuposto que justifica este procedimento é de que a população em

geral, ou uma parcela dela, usualmente não tem conhecimento suficiente para lidar adequadamente com questões tão específicas como as que tratadas nesta pesquisa (OKOLI e PAWLOWSKI, 2004), que se refere ao desenvolvimento de um modelo para o redesign de produtos.

Levando tais fatos em consideração, o Delphi foi o método selecionado para a coleta de dados, por considerar adequada a realização de pesquisa com especialistas para a verificação da viabilidade da sistemática.

## 5.2 A PESQUISA DELPHI

O Delphi é um método que permite chegar a um consenso de opiniões em um grupo sobre certo assunto específico tratado (CUHLS, 2003). O objetivo do Delphi é a exploração criativa e confiável de opiniões, ou ainda, a produção de informações adequadas para a tomada de decisão. Ademais, a aplicação do método Delphi se ajusta aos procedimentos e uso às necessidades específicas do momento e das circunstâncias do problema pesquisado (LINSTONE e TUROFF, 2002).

A opção pelo método Delphi dá-se geralmente pela característica do estudo, tais como a inexistência de dados históricos, as perspectivas de mudanças estruturais em determinado setor e a necessidade de abordagem interdisciplinar.

A escolha do método Delphi, neste estudo, justifica-se por sua adequação para a realização de análises qualitativas e, ainda, pela possibilidade de uma abordagem interdisciplinar, necessária para a avaliação da sistemática de ReDFRem. O Delphi é aplicado, portanto, para se buscar o consenso de opiniões dos especialistas quanto ao uso da sistemática para realizar o redesign de produtos para remanufatura.

De acordo com Strauss e Zeigler (1975) existem três tipos de Delphi: o numérico, o político e o histórico. O objetivo do Delphi numérico é especificar um único ou um intervalo mínimo de estimativas e previsões numéricas de um problema. O Delphi político procura definir um conjunto de respostas ou alternativas a uma corrente ou problema de política, enquanto que o objetivo do Delphi histórico busca explicar as questões que promoveram uma decisão específica ou a identificação de alternativas possíveis que poderia ter sido preparada contra uma determinada decisão do passado.

De acordo com Linstone e Turoff (2002), existem quatro possíveis objetivos para uma aplicação Delphi:

- Para explorar ou expor suposições subjacentes ou informações que levem a diferentes julgamentos;
- Para buscar informações que possam gerar um consenso de julgamento por parte do grupo de pessoas;
- Para correlacionar decisões sobre um tema que abrange uma vasta gama de disciplinas;
- Para afinar o grupo de respondentes quanto a diversos aspectos de temas inter-relacionados.

Uma aplicação de Delphi pode incluir qualquer um desses objetivos, ou ainda, uma combinação destes. Na verdade, o método Delphi pode ser utilizado para obter interpretações, previsões ou recomendações sobre questões diversas (STRAUSS e ZEIGLER, 1975).

O método utilizado para esta pesquisa é ilustrado na Figura 36, em que um questionário é elaborado e enviado para um grupo de especialistas e, depois de devolvido, o resultado é monitorado e posteriormente resumido. Com base nas respostas dadas do primeiro inquérito, se desenvolve um novo questionário para ser enviado aos avaliadores juntamente com o relatório da primeira aplicação. A cada entrevistado é dada ao entrevistado, pelo menos, uma oportunidade de reavaliar suas respostas originais com base no relatório das respostas dadas pelo grupo. É, portanto, uma combinação de um processo de votação e um processo de conferência, cujo objetivo é chegar a um consenso de opiniões entre o grupo entrevistado.

O Delphi é também um procedimento para a estruturação de um processo de comunicação entre um grupo de indivíduos. Uma das principais premissas do método é a suposição de que um número de especialistas é necessário para tratar adequadamente qualquer problema, em que uma discussão face-a-face entre os membros do grupo seria ineficaz, ou impossível, por causa do custo e do tempo que estariam envolvidos. Outra característica do método é o anonimato do grupo de especialistas envolvidos, que deve ser mantido a fim de se evitar influências tendenciosas sobre os itens analisados.

No que se refere à seleção de especialistas, deve-se considerar a participação de pessoas da indústria/empresas, universidades e instituições de pesquisa e, como em toda pesquisa, o tamanho da amostra precisa ser suficiente para se tirar conclusões.

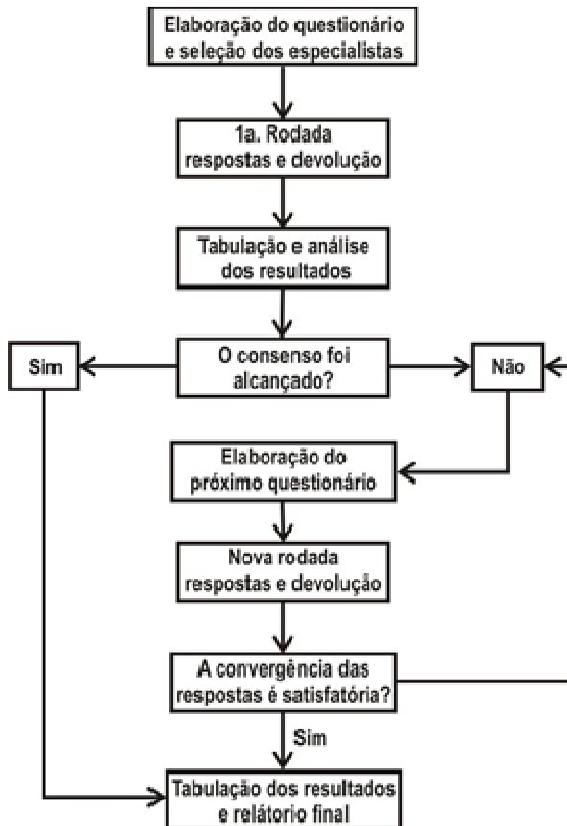


Figura 36: Atividades genéricas do Delphi

Fonte: Adaptado de Wrigh e Giovinazzo (2000).

No Delphi, o número de participantes depende da quantidade de assuntos que serão tratados, das áreas abordadas, da taxa de resposta ou participação esperada (CUHLS, 2003).

No entanto, um consenso sobre o número ideal de pessoas necessárias para compor um painel de especialistas não foi encontrado na bibliografia consultada. Linstone e Turoff (2002) recomendam um número mínimo de dez pessoas no grupo. Scapolo e Miles (2006) consideram que a dimensão mínima de um painel de peritos para desenvolver um estudo Delphi não deve ter menos de oito membros, embora os autores reconheçam que o número de especialistas é geralmente uma escolha do pesquisador ou das empresas que o utilizam o método. Cuhls (2003) vincula o número de especialistas ao tamanho

do campo de estudo, exemplificando que o número de especialista será pequeno se o campo de estudo se resumir a uma sala de um grupo de usuários de computadores. Pajera (2003) considera que com quatro especialistas é possível realizar um estudo Delphi, contudo, o risco inerente é que nem todas as competências necessárias para investigar o assunto inquirido podem ser representadas de forma adequada, já que se trata de uma abordagem interdisciplinar.

Diante disso, conclui-se que não há um número mínimo ou máximo de pessoas para compor um painel de especialistas. A escolha por um pequeno grupo ou de um grupo numeroso, depende, portanto, do tipo de problema a ser investigado e da população passível de ser consultada.

Um estudo survey realizado por Skulmoski; Hartman; Khran (2007) sobre o uso do Delphi em teses e dissertações, apontou que o método tem sido usado para desenvolver, identificar, prever e validar pesquisas em uma grande variedade de áreas de investigação. Observam que o mais comum é três rodadas de Delphi, no entanto, com duas ou até mesmo uma rodada Delphi também se pode chegar a resultados conclusivos. Na pesquisa realizada pelos autores, o tamanho da amostra variou bastante, com um número mínimo de três, e o máximo de cento e setenta e um especialistas para compor um painel de avaliadores. Concluem ainda que não existe um estudo Delphi típico, uma vez que o método é modificado para se adequar às circunstâncias e aos objetivos da pesquisa.

### **5.2.1 Seleção dos especialistas**

Um dos fatores mais determinantes para a qualidade de uma pesquisa Delphi é a seleção dos especialistas, pois os resultados dependem da cooperação e do conhecimento dos que irão fazer parte do painel de avaliadores (GORDON, 1994). Por este motivo, alguns procedimentos devem ser observados durante a seleção.

Rowe; Wright; Bolger (1991) indicam uma pré-seleção com pessoas de diferentes formações, mas com conhecimento adequado sobre o problema tratado. Gordon (1994) sugere que sejam inseridas na lista de especialistas pessoas que já publicaram sobre o tema tratado e, ainda, recomenda o uso de uma matriz em que as habilidades requeridas são listadas para melhor visualização. Para Skulmoski; Hartman; Khran (2007), os participantes para um estudo Delphi devem preencher os seguintes requisitos: (i) conhecimento e experiência com as questões sob investigação; (ii) capacidade e vontade de participar; (iii) tempo

suficiente para participar do estudo e; (iv) habilidade de comunicação efetiva e compromisso para participar de mais de uma rodada Delphi. As pessoas selecionadas para este estudo são especialistas de áreas relevantes e escolhidas com base em suas atividades de trabalho, no caso, sua interação com os conceitos de projeto e de desenvolvimento de produtos.

Considerando as recomendações de Skulmoski;Hartman;Khran (2007), Gordon (1994) e Rowe;Wright;Bolger (1991), bem como o campo de estudo escolhido e a especificidade do tema tratado, neste estudo a seleção dos especialistas foi realizada de acordo com os seguintes procedimentos:

#### 5.2.1.1 Seleção dos Especialistas das Empresas do PIM

O contato com as empresas do PIM se deu por meio da SUFRAMA que forneceu uma lista das empresas instaladas e produzindo no Pólo Industrial. São 402 empresas atuando nos seguintes setores de atividades, conforme apresenta a Tabela 03:

<b>Setores de atividades</b>	<b>Número de empresas por setor</b>
Bebidas Não Alcoólicas e Seus Concentrados	24
Editorial e Gráfico	09
Material Elétrico, Eletrônico e de Comunicação, que inclui o Pólo de Componentes e Produtos Eletroeletrônicos e de Comunicação e de Máquinas Copiadores e Similares,	123
Madeira	04
Mecânico	30
Metalúrgico	40
Minerais não Metálicos	02
Mobiliário	05
Papel, Papelão e Celulose	14
Produtos Derivados da Borracha	02
Produtos Alimentícios	04
Químico e Farmacêutico	26
Produtos de Matérias Plásticas	67
Setor Têxtil	01

Vestuário, Artigos de Tecidos e de Viagem	01
Material de Transporte, que inclui o pólo de Duas Rodas.	36
Construção	02
Aparelhos, Equipamentos e Acessórios Fotográficos, Ótico, Isqueiros, Canetas e Barbeadores Descartáveis, classificados como setor Diversos	14

Tabela 03: Empresas instaladas e produzindo no PIM

Fonte: SUFRAMA (2010b).

A amostragem da pesquisa foi definida com os pólos de Duas Rodas e de Eletroeletrônicos, conforme o item 5.1.2, que constitui um total de 159 empresas. O contato com essas empresas se deu por meio de correio eletrônico com o envio de uma carta de apresentação (Apêndice B) que explicava qual era a intenção da pesquisa. Posteriormente, o contato se deu por meio de telefone em que se procurou tirar dúvidas e fornecer maiores informações sobre a pesquisa. Os critérios de seleção das empresas foram com base em: (i) empresas que realizam projetos de adaptação ou regionalização de peças e produtos; (ii) disponibilidade da empresa em participar da pesquisa, e; (iii) a existência e a disponibilidade de um especialista com conhecimento em desenvolvimento de produtos para responder o questionário.

Das 159 empresas contatadas, obteve-se feedback de apenas 42, dessas, 19 declararam realizar algum tipo de atividade relacionada ao processo de desenvolvimento de produtos ou apoiavam o time de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), geralmente localizado em outro país, com informações sobre o desenvolvimento de fornecedores, necessidades dos clientes locais e sobre as matérias-primas nacionais. Cerca de 80% das atividades ligadas a novos produtos realizadas nas indústrias do PIM são apenas de implantação, conforme declarado por um dos diretores de uma das empresas pesquisadas, por isso a dificuldade em se encontrar um número maior de empresas para participar da pesquisa. A Tabela 04 apresenta um resumo do número de empresas contatadas e as que declararam realizar algum tipo de atividade ligada a projeto de produtos.

<b>Setores pesquisados</b>	<b>Empresas contatadas</b>	<b>Feedback</b>	<b>Realizam alguma atividade de projeto</b>
Eletroeletrônico	123	34	16
Duas Rodas	36	8	3
Total	159	42	19

Tabela 04: Empresas contatadas/realizam atividades ligadas a projeto de produtos

Fonte: Pesquisa de campo – ago/set de 2010

### 5.2.1.2 Seleção dos Especialistas da Academia

Os procedimentos para a seleção dos especialistas da área acadêmica deu-se similar aos da área da indústria. Os pesquisadores foram contatados por meio de correio eletrônico (Apêndice C) e, posteriormente, por telefone. As áreas do conhecimento as quais os pesquisadores atuam são de Engenharia Mecânica, Engenharia de Produção e Design de Produtos. As instituições relacionadas foram: Universidade Federal do Amazonas do curso de Design de Produtos, da Universidade Federal de Santa Catarina do grupo de pesquisa Engenharia de Produtos e Processos, da Escola de Engenharia de São Carlos/USP dos grupos de pesquisa de Engenharia do Ciclo de Vida e de Manufatura Integrada, e da Universidade Politécnica de Valência da área de Design, Fabricação e Projetos Industriais. Foram contatados onze especialistas com *feedback* positivo de seis para participar da pesquisa (Tabela 05)

<b>Área de pesquisa</b>	<b>Pesquisadores contatados</b>	<b>Feedback</b>
Eng. Mecânica	2	1
Eng. de Produção	4	3
Design de produtos	5	2
Total	11	6

Tabela 05: Pesquisadores contatados /realizam atividades ligadas a projeto de produtos

Fonte: Pesquisa de campo – ago/set de 2010.

Depois de selecionado o grupo de especialistas, realizou-se a elaboração do questionário, como será descrito a seguir.

### 5.2.1.3 Elaboração do Questionário Delphi

Em uma pesquisa exploratória podem ser utilizados questionários, entrevistas, observação participante e análise de conteúdos. Oliveira (1997) orienta que a escolha da técnica utilizada

deve considerar o objetivo da pesquisa e os elementos no campo da investigação, bem como a equipe e os recursos financeiros disponíveis. Esta pesquisa se utiliza do questionário para atender aos objetivos do Delphi, conforme preconiza o método.

Sabe-se que a elaboração de um questionário é um processo demorado, pois as questões formuladas devem ser claras e relevantes, de forma a evitar interpretações equivocadas e de acordo com os objetivos específicos que se pretendem alcançar. Igualmente, é necessário que não se tenha abordagens diferentes em um mesmo tópico, de modo que as perguntas possam ser respondidas facilmente ou, como neste estudo, que os critérios possam ser adequadamente avaliados.

De acordo com Cuhls (2003) a maneira mais fácil para elaborar um questionário Delphi é realizar uma pesquisa documental, ou utilizar um grupo de pessoas que tenha a missão de estruturar o questionário e formular as questões. Em alguns casos pode-se fazer uso de um brainstorming, ou de outras atividades de criatividade, e adicionar várias questões para depois se realizar uma triagem. No entanto, este autor recomenda que a forma mais eficiente de estruturar um questionário Delphi é a alimentação das questões com o uso do próprio material existente da pesquisa.

Assim sendo, a estruturação do questionário Delphi para esta pesquisa se deu por meio das orientações e dos parâmetros de Design para Remanufatura, já anteriormente relacionados a partir do item 2.5 do Capítulo II deste estudo, e que também serviram de base para a elaboração da sistemática de ReDFRem. Considerando que a sistemática proposta deve propiciar o redesign de produtos remanufaturáveis, as questões para sua avaliação foram formuladas de acordo as orientações e os parâmetros ali especificados.

O próximo passo foi estabelecer o número de perguntas do questionário. Scapolo e Miles (2006) colocam o número limite de 25 questões para assegurar o gerenciamento da pesquisa, tanto para o pesquisador quanto para os respondentes. Cuhls (2003) recomenda que não devem ter mais de 50 questões por questionário, mas alerta que isso depende das perguntas que se pretende fazer e do tipo de abordagem desejada. Marconi e Lakatos (1982) citam que um questionário deve conter entre 20 e 30 perguntas e não levar mais de 30 minutos para ser respondido. Para Gordon (1994) as questões incluídas em um estudo Delphi, que envolvem um julgamento, podem ser formuladas de várias maneiras e o desenvolvimento dos critérios das opiniões depende das perguntas que devem ser feitas.

Deste modo, as questões para este estudo foram elaboradas em forma de declarações, em que cada uma possuía um valor predefinido em escala para que os respondentes pudessem pontuar o grau do seu julgamento sobre os itens avaliados.

O estabelecimento de critérios se baseia na necessidade de mensurar a capacidade da sistemática quanto a sua aplicabilidade e adequacidade para se chegar às especificações de um projeto de produto remanufaturável, ou seja, para verificar a eficiência e a eficácia do modelo para a realização das fases, tarefas e atividades, e ainda medir a opinião dos especialistas quanto à viabilidade da mesma mediante a apresentação de uma estrutura gráfica.

Nesse contexto, considera-se eficácia a capacidade de fazer certo para se alcançar determinado objetivo, ou seja, escolher os melhores meios (procedimentos) para se chegar a um produto adequado ao mercado. A eficiência envolve a forma que uma atividade é feita, enquanto a eficácia se refere ao resultado da mesma (MEGGINSON; MOSLEY; PIETRI, 1998).

Assim sendo, estruturou-se o questionário em três blocos de questões. O primeiro bloco faz uma avaliação quanto ao critério de julgamento ‘aplicabilidade’ da sistemática ou modelo. Este critério considera os meios, métodos e procedimentos planejados e organizados a fim de realizar o redesign do produto remanufaturável, estruturado com dez questões. O segundo bloco avalia o critério ‘adequacidade’ do modelo para orientar o redesign de produtos remanufaturáveis, considerando as limitações e as propriedades do produto e do processo de remanufatura, com onze questões. O último bloco de questões avalia o critério ‘estrutura’ da representação gráfica do modelo, que contém as indicações e orientações das fases, tarefas e atividades, com cinco questões. Este questionário encontra-se no Apêndice E deste estudo e possui um total de 26 questões, atendendo ao que recomendam Cuhls (2003) e Marconi; Lakatos (1982).

O Quadro 16 apresenta os critérios de julgamento utilizados para avaliar a sistemática, bem como as questões formuladas.

<b>Crítérios de julgamento</b>	<b>Questões</b>
Aplicabilidade	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A sistemática considera as propriedades do produto remanufaturável</li> <li>• Considera as etapas do processo de remanufatura para realizar o redesign</li> <li>• A sistemática utiliza ferramentas e métodos existentes de apoio ao desenvolvimento de</li> </ul>
Meios, métodos e procedimentos planejados e organizados a fim de realizar o redesign do	

produto remanufaturável.	<p>produto, incluindo DFM, DFD e DFE e o uso de matrizes de apoio a decisão.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Propõe desenvolver guias para desmontagem do produto.</li> <li>• Estabelece requisitos para o redesign do produto remanufaturável (uso de QFD).</li> <li>• Considera o ciclo de vida do produto.</li> <li>• São utilizadas orientações de DFRem para a adequação de produtos para a remanufatura.</li> <li>• Considera as informações das especificações técnicas do produto original (estrutura, materiais, tecnologia, etc).</li> <li>• Os meios/caminhos propostos conduzem ao redesign de um produto remanufaturável.</li> <li>• Oferece pontos de verificação com os quais se podem acompanhar o progresso das atividades do processo de redesign.</li> </ul>
<p>Adequacidade</p> <p>Limitações e propriedades do produto e do processo de remanufatura.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• As regras de design para a desmontagem são consideradas durante o redesign.</li> <li>• Considera os procedimentos de montagem do produto original.</li> <li>• Considera as especificidades de juntas e fixadores.</li> <li>• Minimiza o número de peças e de elementos de fixação e juntas.</li> <li>• Considera o redesign do produto o mais modular possível com separação de funções.</li> <li>• Considera a atualização estética do produto.</li> <li>• Considera a atualização e adaptação do produto a mudanças tecnológicas.</li> <li>• Considera a inserção de novas funções.</li> <li>• Faz considerações ambientais durante o redesign do produto (redução de emissões, do consumo de energia, da geração de resíduos).</li> <li>• Considera que o produto terá mais de um ciclo de vida.</li> <li>• Considera a reutilização e recuperação de peças.</li> </ul>
<p>Estrutura</p> <p>Representação gráfica do</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A estrutura da sistemática é simples - fácil de usar.</li> <li>• É clara - não contém dúvidas quanto ao seu</li> </ul>

<p>modelo, que contém as indicações e orientações das fases, tarefas e atividades.</p>	<p>entendimento.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• É objetiva - fim que se quer atingir, no caso, realizar o redesign de um produto remanufaturável.</li> <li>• Ilustra todos os componentes e os fluxos existentes no sistema, identificando fases, tarefas e atividades.</li> <li>• Possui boa combinação de todos os elementos orientados ao objetivo que se propõe, associando as informações técnicas de projeto às atividades realizadas.</li> </ul>
--	---

Quadro 16: Questões e critérios de julgamento utilizados para avaliar a sistemática

Um dos principais elementos considerados para a estruturação do questionário foi o tempo estimado de preenchimento. Neste estudo buscou-se o tempo limite de 30 minutos, atendendo o que recomendam Okoli e Pawlowski (2004); Marconi e Lakatos (1982). Para se cumprir este tempo, juntamente com o desenho da sistemática foi enviada uma descrição detalhada das fases, tarefas e atividades, a fim de ser consultada pelo especialista caso surgissem dúvidas durante a avaliação.

Para que os especialistas pudessem entender melhor o objetivo do estudo, foi elaborada uma explicação inicial sobre como preencher o questionário, a fim de reduzir a taxa de abandono da pesquisa, pois de acordo com Scapolo e Miles (2006), se um questionário aparenta ser difícil de preencher o entrevistado pode considerar que este consumirá muito tempo para ser respondido, e então, pode decidir não participar da pesquisa.

Ainda com relação a definição do questionário final, realizou-se primeiro uma aplicação piloto entre os especialistas da área acadêmica. A partir das sugestões apontadas, modificou-se a estrutura do questionário e optou-se por apresentá-lo on-line, além de realizada a reformulação de questões e eliminação de outras existentes que se mostraram redundantes. Teste este que foi de extrema importância para se ter uma análise crítica de outros pesquisadores sobre os critérios de julgamento estabelecidos e também para aperfeiçoar o instrumento de coleta de dados.

Para uma segunda rodada de aplicação Delphi, Cuhls (2003) recomenda considerar desde o início como dar feedback aos participantes, exemplificando que a maneira usual é fornecer percentagens ou gráficos a partir dos dados acumulados do questionário

da primeira rodada. Este questionário encontra-se no Apêndice C deste documento.

Com relação a mensuração das questões no estudo Delphi, é recomendado o uso de escala de intervalo ou ordinal, como Likert ou outras escalas de pontuação, que compreende uma série de afirmações relacionadas com o objeto pesquisado. O uso de escala facilita o cálculo de medidas de tendência central (moda, mediana, média), bem como o retorno das respostas para os especialistas nas rodadas subseqüentes (STRAUSS; ZEIGLER, 1975).

As questões elaboradas para medir o julgamento dos respondentes com relação à sistemática de ReDFRem se utilizam de uma escala de avaliação com graduação ou categorias de cinco pontos. Isto porque de acordo com Giralde;Ikeda;Carvalho (2008) a maioria dos respondentes não consegue lidar com muitas opções de escolha, por isso sugerem que o número apropriado de graduações em uma escala deva ser sete mais ou menos dois, ou seja, entre cinco e nove.

Nesta pesquisa a escala de cinco pontos é usada com o objetivo de simplificar o preenchimento do questionário e adequar a opção que melhor representa o julgamento dos respondentes. A cada resposta foi atribuído um número para direcionar o respondente a selecionar a melhor opção, segundo seu julgamento, em relação a cada afirmação. A escala utilizada foi adaptada para que os especialistas não só identifiquem a presença dos critérios, mas também informem qual o seu grau de percepção quanto à evidência do critério, com uma graduação de 'nenhuma evidência do critério' a uma 'evidência muito forte do critério'.

Diferentemente das escalas que apenas medem o grau de concordância ou discordância entre os especialistas, a proposta da escala utilizada é mensurar o quanto a sistemática atende os critérios de remanufaturabilidade estabelecidos, segundo a crença dos respondentes.

A escala utilizada para avaliar a sistemática é apresentada na Figura 37.

1	2	3	4	5
Nenhuma evidência do critério	Pouca evidência do critério	Alguma evidência do critério	Boa evidência do critério	Evidência muito forte do critério

Figura 37: Escala utilizada pelos especialistas para avaliar a sistemática de ReDFRem

Embora se utilize de uma escala de cinco pontos, optou-se por não utilizar a opção neutra nas respostas, estabelecendo uma opinião forçada dos especialistas, uma vez que, conforme explica De Loë (1995), em um método Delphi a neutralidade só pode ser justificada pela falta de informação do respondente ou por sua indecisão sobre o critério avaliado.

Com relação a análise dos questionários Cuhls (2003) define que esta é feita muitas vezes em percentil (como já mencionado anteriormente), a fim de mostrar a amplitude dos pareceres, mas, segundo o mesmo autor, simples gráficos ou percentagens também podem ser usados, já que nenhuma teoria é necessária para recolher os dados iniciais, no entanto, dependendo das características e objetivos da pesquisa, pode ser fundamental para se realizar a análise dos dados finais. Esta questão será discutida no próximo item.

### 5.3 MÉTODO DE ANÁLISE DOS DADOS E MEDIÇÃO DO CONSENSO EM DELPHI

Esta pesquisa é descritiva, com dados coletados de uma amostra da população de especialistas da área industrial e acadêmica para verificar, por meio do consenso de opiniões, a percepção e o julgamento dos respondentes sobre o uso da sistemática para realizar o redesign de produtos para remanufatura.

Busca-se, ainda, por meio da análise dos dados, identificar os itens da sistemática em que existem contradições (falta de consenso) a fim de realizar mudanças nos mesmo para atender aos critérios de remanufatura. Logo, a avaliação da sistemática quanto ao seu uso e viabilidade, depende da percepção dos especialistas e de suas considerações, realizadas a partir dos critérios de julgamento estabelecidos e das observações feitas por eles durante o inquérito.

No entanto, os dados obtidos por meio da aplicação dos questionários são de caráter qualitativo que faz uso de uma escala de razão, logo, não permitem operações matemáticas mensuráveis, restringindo-se ao uso dos métodos gráficos de análise (CLASON e DORMODY, 1995). Ademais, em pesquisas de opinião geralmente existe a dificuldade em se mensurar a escolha (identificação) e a validação, nas quais a lógica clássica fica impossibilitada de ser aplicada, sendo este um processo subjetivo (ROCHA et al., 2010).

O Delphi procura o consenso de opiniões, e este consenso é alcançado quando existe uma concentração dos pareceres em uma margem ou intervalo de variabilidade previamente estabelecida, no

entanto, os meios adotados para a medição de consenso em Delphi diferem em razão do método e dos critérios adotados (LIBÂNIO, 2006). Mas para Strauss e Zeigler (1975), o importante é a mensuração correta das opiniões dos especialistas, que permita uma perfeita interpretação e análise das informações coletadas.

Para Linstone e Turoff (2002) simples rankings de dados estatísticos com o apoio de gráficos são a forma mais fácil para apresentar resultados deste tipo de pesquisa e que podem ser usados, também, desde métodos qualitativos até a simples forma de distribuição de frequência. Segundo Libânio (2006), é grande o número de trabalhos de pesquisas Delphi que utiliza medidas de tendência central e de dispersão dos dados (mediana e desvio, intervalo interquartil ou média e variância), para identificação do consenso, todavia, conclui que não existe um entendimento entre os autores, por ele pesquisado, sobre quais são os melhores indicadores estatísticos a serem utilizados.

Para De Loë (1995) o cálculo da média e da variância oferece melhores índices que a mediana e o intervalo interquartil, no entanto, o autor concluiu, após analisar alguns resultados de estudos Delphi, que esses indicadores nem sempre são os mais adequados. Por isso, propõe a avaliação do consenso por meio da análise das distribuições de votos, sistema que, segundo o autor, apresenta melhores resultados dos que os obtidos por meio do cálculo da estatística descritiva.

O sistema elaborado por De Loë (1995) foi utilizado com sucesso por outros autores, inclusive na pesquisa realizada por Libânio (2006), que indica como referência para se alcançar um alto grau de consenso de opiniões adotar o percentual de 70% de votos em uma única categoria da escala de votação, ou 80% na somatória de até duas categorias na escala. Para alcançar um índice de consenso médio, utilizar 60% de votos em uma única categoria ou 70% na somatória de até duas categorias na escala de votação. Estabelece ainda considerar como um baixo grau de consenso quando alcançar 50% das respostas em uma única categoria da escala de votação, ou 60% em duas categorias relacionadas. Os percentuais abaixo de 50% em uma categoria, ou menos que 60% na soma de duas categorias, são considerados como nenhum consenso alcançado.

Assim sendo, considerando a potencialidade do sistema de distribuição de votos para a análise de dados a fim de tomar decisões e medir o consenso de opiniões a partir de informações providas de especialistas, decidiu-se por adotá-lo também nesta pesquisa. A Tabela 06 apresenta os percentuais adaptados para a avaliação de consenso em

uma escala de cinco pontos segundo a distribuição de votos em uma pesquisa Delphi.

<b>Grau de consenso</b>	<b>Condição</b>
<b>Alto</b>	70% de votos em uma categoria ou 80% em duas
<b>Médio</b>	60% de votos em uma categoria ou 70% em duas
<b>Baixo</b>	50% de votos em uma categoria ou 60% em duas
<b>Nenhum</b>	< 50% de votos em uma categoria ou < 60% em duas

Tabela 06: Percentuais para a avaliação de consenso, segundo a distribuição de votos em uma pesquisa Delphi.

Fonte: Adaptado de De Lõe (1995) apud Libânio (2006).

Além da medição do consenso das opiniões, também deve ser feita a correta interpretação e análise das respostas dos entrevistados. Para isso, foi estabelecida uma anotação de aceitação ou concordância para cada categoria da escala de votação. A interpretação do grau de concordância da escala utilizada foi adaptada de Listone e Turrof (2002) que destacam a importância de se atribuir uma representação da informação coletada para uma adequada avaliação. As escalas sugeridas por estes autores são: aceitação, viabilidade, importância e confiabilidade, contudo, para este estudo, será dada uma interpretação para a escala de votação como grau de ‘evidência’ do critério de julgamento estabelecido para a avaliação da sistemática.

Para Listone e Turrof (2002) esse tipo de organização é importante para traduzir uma ordem e uma graduação para o tratamento dos dados coletados, na qual as categorias da escala de votação assumem valores negativos e positivos. Para isso, relacionou-se para cada categoria da escala de votação um valor discreto para mensurar as opiniões dos entrevistados, técnica utilizada e validada por Libânio (2006) e que foi adaptada para este estudo.

A Tabela 07 mostra as categorias aplicadas à escala de votação, bem como a pontuação e a anotação de evidência atribuídas a cada categoria da escala.

<b>Pontuação</b>	<b>Categorias da escala</b>	<b>Interpretação</b>
-1,0	1- Nenhuma evidência do critério	- sem nenhum destaque, não identificado - não compreendido, não interpretável
- 0,7	2-Pouca evidência do critério	- sem destaque, só identificado a partir de um item muito evidente - pouca ênfase - pouco claro, difícil de interpretar
+0,3	3-Alguma	- dúvidas para a identificação

	evidência do critério	- alguma ênfase - necessário mais elementos para sua interpretação
+0,7	4-Boa evidência do critério	- destacado, identificável - com ênfase - evidente, de boa interpretação
+1,0	5-Evidência muito forte do critério	- claramente destacado, sem dúvidas para a identificação - com bastante ênfase - muito evidente, fácil de interpretar

Tabela 07: Pontuação e anotação das categorias da escala de votação

Fonte: adaptado de Listone; Turrof (2002)

Conforme apresenta a Tabela 07, os valores utilizados para pontuar as categorias variam no intervalo de -1 a +1, que as categorias 1 e 2 indicam avaliação negativa dos critérios de remanufatura estabelecidos com valores de -1,0 e -0,7 respectivamente, enquanto que a categoria 3 (+0,3) já identifica alguma percepção da existência do critério. As pontuações 4 (valor +0,7) e 5 (+1,0) indicam que existe concordância favorável do respondente com relação aos critérios ou declarações feitas. Isto significa que os valores inferiores a categoria 3 caracterizam evidência desfavorável (negativa) aos critérios de remanufatura propostos, enquanto que a partir de três indica avaliação positiva ou aprovação do critério de remanufatura estabelecido.

Assumindo que uma pontuação foi atribuída a cada categoria da escala de votação para a correta interpretação e análise dos dados, o próximo passo é a verificação da distribuição dos votos das categorias, determinada pela nota ponderada (NP) a ser calculada para cada dimensão avaliada, em que (LIBÂNIO, 2006):

$$NP = \frac{(NCP_{max}) + (0.7 * NCP_i) + (0.3 * NCP_{min}) - (0.7 * NCN_{min}) - NCN_{max}}{NCP_{max} + NCP_i + NCP_{min} + NCN_{min} + NCN_{max}}$$

Equação 1: Nota Ponderada

Onde:

$NCP_{max}$  – número de votos atribuídos a categoria positiva máxima da escala;

$NCP_i$  – número de votos atribuídos a categoria positiva intermediária da escala;

$NCP_{min}$  – número de votos atribuídos a categoria positiva mínima da escala;

$NCN_{min}$  – número de votos atribuídos a categoria negativa mínima da escala;

$NCN_{max}$  – número de votos atribuídos a categoria negativa máxima da escala.

Contudo, tão importante quanto a medição do consenso e a interpretação das categorias da escala de votação em um estudo Delphi, é a verificação da estabilidade da distribuição de votos, medida que permite analisar a interação das rodadas sucessivas do inquérito e preservar as opiniões do grupo de respondentes. Esta medida é importante para se chegar a uma conclusão da pesquisa, mesmo quando o consenso de alguma questão não foi alcançado após uma segunda ou terceira rodada, pois este cálculo permite a manutenção das posições ou *ranks* de votação dos critérios que foram avaliados em rodadas anteriores (LIBÂNIO, 2006).

Sendo assim, para a quantificação das mudanças de posicionamento para este estudo Delphi será utilizado o método descrito por Scheibe; Skutsch; Schofer (1975), e validado por Libânio (2006) em que a estabilidade da distribuição dos votos em Delphi é dada pela razão entre a metade do somatório das diferenças, em termos absolutos, dos votos em cada categoria da escala de votação e o número de respondentes ou de votos, definindo:

$$v(\%) = \frac{\sum_{i=1}^5 |r_{n+1}^i - r_n^i|}{2p}$$

Equação 2: variação percentual

Onde:

$v(\%)$  - variação percentual do posicionamento na escala de votos entre as rodadas (iterações  $n$  e  $n+1$ );

$i$  - categorias ou posições na escala de votação

$r_{n+1}^i$  - número de votos atribuídos à categoria  $i$ , na rodada  $n+1$ .

$r_n^i$  - número de votos atribuídos à categoria  $i$ , na rodada  $n$ ;

$p$  - número de especialistas, que é igual ao número de votos.

No método, a estabilidade é alcançada quando a variação de votos nas diferentes categorias da escala de votação é inferior a 15%. A opção em utilizar este método está na simplicidade do seu uso e, também, por apresentar maior validade que os testes paramétricos e de variâncias para um estudo Delphi (SCHEIBE; SKUTSCH; SCHOFER, 1975).

Ademais, esse percentual coincide com o cálculo da moda, correspondendo a menor alteração da posição das opiniões dos especialistas.

É importante resgatar que o objetivo desta etapa da pesquisa é chegar, por meio de consulta a especialistas, a um consenso de opiniões quanto a viabilidade do uso da sistemática para realizar o redesign de produtos para remanufatura, em que se avaliam procedimentos e atividades estabelecidos no modelo. Além disto, busca-se realizar ajustes e melhorá-lo nos critérios em que a avaliação for negativa ou que não houver o consenso de opiniões. Os resultados dessas avaliações são apresentados e discutidos no próximo capítulo.

## 6 RESULTADOS, ANÁLISES E DISCUSSÕES

Neste capítulo, apresentam-se os resultados da investigação Delphi que avalia a Sistemática de Redesign para Remanufatura. Na aplicação de questionários, procurou-se restringir o número de rodadas a dois, a fim de reduzir tanto quanto possível o cansaço e a desistência dos respondentes.

Na pesquisa de campo feita aos especialistas, o que se deseja é avaliar se a sistemática possui os requisitos ou diretrizes que foram identificados durante a fase da revisão bibliográfica e, por meio dessa identificação, saber se os mesmos estão adequadamente representados na sistemática para correta interpretação, orientação e conseqüente aplicação pelo projetista, ou equipe de desenvolvimento, quanto ao processo de redesign para a remanufatura. Isto porque o modelo de desenvolvimento de produtos deve representar graficamente todas as fases do processo e descrever as atividades relacionadas com suas informações de entradas e saídas, as tarefas e as melhores práticas (ROZENFELD et al, 2006). Portanto, deve conter em sua estrutura representativa todos os elementos necessários para a correta realização da atividade que se propõe, no caso, ajude a reprojeter produtos remanufaturáveis.

Assim, a finalidade desta etapa da pesquisa é avaliar se a sistemática contempla os procedimentos e as atividades necessárias para orientar adequadamente o processo de redesign de produtos para a remanufatura. Para isso, os critérios de julgamento estabelecidos (aplicabilidade, adequacidade e estrutura) para esta avaliação devem ser satisfeitos por meio da identificação dos requisitos do produto e do processo de remanufatura, segundo orientações e parâmetros utilizados para a formulação da estrutura da sistemática descritos no Quadro 15 do capítulo 3 deste trabalho.

O objetivo do primeiro questionário é avaliar a sistemática mediante critérios previamente estabelecidos e também detectar possíveis falhas de estruturação do modelo. As avaliações negativas, ou sem o consenso de opiniões, determinam as questões do segundo questionário, momento que os especialistas realizam propostas de melhorias para a sistemática, conforme define o método. O objetivo do segundo questionário é obter o consenso das opiniões dos especialistas entrevistados, por isso, não estão contidas no segundo questionário as questões que obtiveram o consenso de opinião. Por meio do cálculo da variação percentual do posicionamento do voto na escala de votação

entre as duas rodadas, se mantém a estabilidade da distribuição dos votos dos respondentes, o que determina o fim da avaliação das questões.

Tendo isso em conta, no primeiro momento são apresentadas e discutidas as respostas da primeira aplicação Delphi, após, a aplicação do segundo questionário é analisada. O final deste capítulo possui uma discussão sobre as duas interações Delphi, bem como os ajustes e melhorias realizadas na Sistemática de ReDFRem.

## 6.1 PRIMEIRA RODADA DELPHI

A primeira rodada da pesquisa foi realizada durante o período de 20 outubro a 15 de dezembro de 2010. Das 19 indústrias que sinalizaram realizar algum tipo de atividade relacionada a projeto e desenvolvimento de produtos, obteve-se apenas a participação de quatro especialistas, sendo um da área de duas rodas e três da área de eletroeletrônicos. Esta amostra poderia representar um problema para o presente estudo, uma vez que se buscava uma maior participação dos representantes da indústria, todavia, o principal critério de seleção estabelecido limitou bastante a participação de especialistas (conhecimento prévio em processo e desenvolvimento de produtos), agravado ainda pelo fato de que cerca de 80% das atividades realizadas nas indústrias do PIM são de implantação de produtos e não de desenvolvimento. Com relação a representatividade da área acadêmica, também obteve-se um total de quatro questionários respondidos, sendo, portanto, o mesmo número de especialistas em cada grupo.

É importante observar que estudos sobre o método Delphi apontam que existe uma desistência de 30% a 50% de participantes durante a pesquisa na primeira rodada de aplicação, e entre 20% a 30% na segunda rodada, mesmo com o aceite inicial do especialista em participar do painel de avaliadores (WRIGHT, GIOVINAZZO, 2000; LINSTONE e TUROFF, 2002; CUHLS, 2003; PAJERA, 2003; SCAPOLO e MILES, 2006). Observa-se ainda que embora o número de participantes nesta pesquisa possa ser considerado pequeno, isso não se configura um problema para a análise, pois, de acordo com Gordon (1994), o Delphi não foi projetado para ser estatisticamente significativo, mas sim gerar opiniões que possam ser importantes para análises posteriores e, segundo o mesmo autor, para cumprir este objetivo entrevistas realizadas com poucos especialistas configuram-se em um excelente meio para a obtenção de tais opiniões.

Assim, dos representantes das empresas contatadas que não participaram da pesquisa apenas um justificou sua desistência, apresentando como motivo não possuir conhecimento suficiente para avaliar o modelo, bem como a falta da disponibilidade de tempo. Vale ressaltar que não houve erro de preenchimento dos questionários, validando, portanto, todas as respostas recebidas. A Tabela 08 apresenta o perfil dos especialistas que participaram da pesquisa.

Especialistas		Nível de formação			Ocupação profissional			Experiência profissional (anos)		
Área	No. Part.	Grad Esp.	Mest.	Dr. P/D	Gerente Diretor	Pesquisa Ensino	Área Técnica	- 10	10 a 20	+ 20
Indústria	04	02	02	0	02	0	02	0	02	02
Academia	04	0	03	01	0	04	0	02	02	0

Tabela 08: Perfil dos especialistas que participaram da pesquisa

Fonte: pesquisa de campo – out/dez de 2010

Observando a Tabela 08, é notória a qualificação dos entrevistados, dado o nível e o tempo de atuação dos mesmos nas áreas identificadas. Isto possibilita a realização de mudanças na sistemática de ReDFRem e constatar, ou não, segundo a opinião dos especialistas, a sua viabilidade mediante a verificação do grau de atendimento aos critérios de julgamento estabelecidos. São consideradas, ainda, as idéias e sugestões recebidas para contribuir com a melhoria da mesma.

Os nomes dos entrevistados, assim como os nomes das empresas, são mantidos em anonimato por solicitação de sigilo e, também, para evitar influências tendenciosas sobre os itens analisados, conforme as características do método.

A seguir, apresenta-se a avaliação dos resultados da primeira aplicação Delphi.

### 6.1.1 Avaliação do primeiro questionário

Para a presente análise, os pareceres dos especialistas foram considerados exclusivamente quanto à percepção dos critérios Aplicabilidade, Adequacidade e Estrutura nos itens ou questões que avaliaram a sistemática de ReDFRem, e também, utilizando a Tabela 06 da medição do consenso das opiniões e com a anotação de evidência (Tabela 07) atribuída a cada categoria da escala de votação. Vale lembrar que os itens de avaliação da sistemática, ou também requisitos de redesign para remanufatura, estão contidas no Quadro 15 que

orientou e serviu de parâmetro para a formulação da estrutura da sistemática de ReDFRem, logo é importante a identificação desses itens no modelo.

Considera-se inicialmente a frequência de ocorrências dos pareceres dos entrevistados sobre o critério de julgamento Aplicabilidade, que engloba os meios, métodos e procedimentos planejados e organizados a fim de orientar o redesign de produtos remanufaturáveis.

#### 6.1.1.1 Critério Aplicabilidade

Seguindo as especificações estabelecidas no Quadro 19 do capítulo 5 deste trabalho, no critério de julgamento Aplicabilidade, inicialmente são considerados os pareceres dos especialistas sobre os itens relacionados ao uso de métodos e ferramentas que auxiliam o redesign de produtos para remanufatura, como o DFE e QFD, em que se observou, em sua maioria, a ocorrência de um alto grau de consenso da existência dos requisitos no modelo, nomeadamente relacionados aos itens:

- Item 1.3, segundo os especialistas a sistemática utiliza ferramentas e métodos existentes de apoio ao desenvolvimento de produto, evidenciando a aplicabilidade deste item no modelo, afirmado por 76% dos entrevistados;
- Item 1.5, que avalia se a sistemática estabelece requisitos para o redesign do produto, obteve um alto grau de consenso, com 88% de concordância dos respondentes;
- O item 1.6 avalia se a sistemática considera o ciclo de vida do produto, este item obteve alto grau de consenso, com o percentual de 88%, todavia, foi registrada a seguinte crítica com relação a este item: *“Acredito que a sistemática visualiza o ciclo de vida do produto de modo superficial, com abordagem menos significativa”*

Observando a sistemática, nota-se que um dos primeiros mecanismos utilizados para auxiliar o redesign do produto existente que será remanufaturado é o estudo do fluxo dos materiais e de energia, que considera os fatores ambientais do ciclo de vida do produto original para identificar e reduzir os impactos ambientais. O estudo do fluxo propicia a identificação e a seleção da melhor perspectiva do ciclo de vida do produto não sendo necessário, portanto, um estudo aprofundado da ACV que é complexo e demorado. Ademais, a ACV não é o foco do

desenvolvimento, utiliza-se o estudo do fluxo dos materiais e de energia mais como uma ferramenta para auxiliar o redesign para se obter um produto mais ecoeficiente. No entanto, considera-se importante rever a estrutura da sistemática para que se torne mais evidente este aspecto no modelo.

- Item 1.10 que avalia se a sistemática oferece pontos de verificação para acompanhar o progresso das atividades de redesign, obteve a concordância de 88% dos especialistas quanto a evidência do requisito, com alto grau de consenso, o que determina o atendimento do critério estabelecido.

Considerando apenas os itens relacionados ao uso de métodos e ferramentas que auxiliam o redesign para a remanufatura, não há dúvidas quanto a satisfação do critério aplicabilidade, uma vez que as avaliações foram positivas e consensuais. A Figura 38 apresenta os resultados.

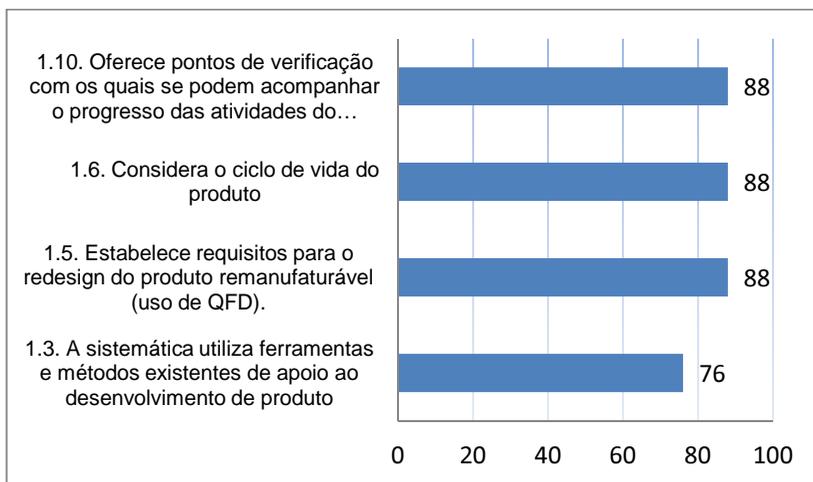


Figura 38: Pareceres dos entrevistados sobre o uso de métodos e ferramentas que auxiliam o redesign de produtos para remanufatura.

As etapas do processo de remanufatura, tidas como importante elemento que caracteriza a remanufatuabilidade de um produto, que exige durabilidade dos materiais, facilidade de limpeza e de substituição de peças e componentes, na percepção dos especialistas são apreciadas pelo modelo, visto que os itens que avaliaram esses aspectos apontaram:

- item 1.2, os especialistas julgam que a sistemática considera as etapas do processo de remanufatura para realizar o redesign,

obteve grau médio com 75% de consenso indicando boa evidência do critério;

- item 1.9, 76% dos especialistas julgaram que a sistemática considera os meios/caminhos que conduzem ao redesign de um produto remanufaturável, com uma evidência muito forte do critério com grau médio de consenso segundo a percepção dos mesmos.

Nesses itens não foram feitas críticas ou sugestões para melhoria da sistemática. A Figura 39 apresenta os resultados.

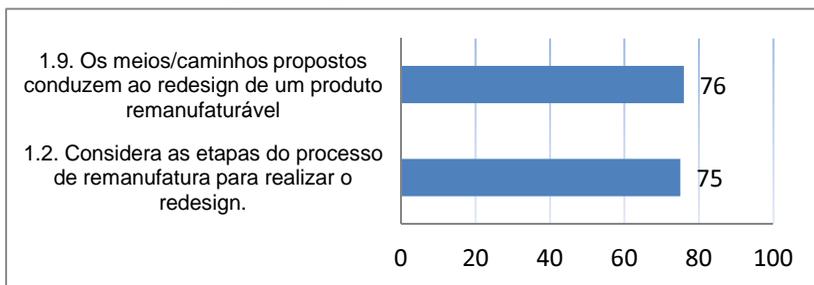


Figura 39: Pareceres dos entrevistados sobre os requisitos que avaliam as etapas do processo de remanufatura

Já as questões 1.1, 1.4, 1.7 e 1,8 avaliam o uso de guias e orientações de remanufatura para o redesign do produto, no geral obtiveram um baixo grau de consenso, apontando:

- item 1,1 foi avaliado como baixo grau de consenso, em que 63% dos especialistas julgaram que a sistemática considera as propriedades do produto remanufaturável;
- item 1.4 obteve baixo grau de consenso em que 63% dos especialistas acreditam que **existe alguma evidência do critério** quanto ao uso de guias para desmontagem do produto, caracterizando a necessidade de se considerar mais elementos para a identificação e interpretação, e conseqüente aplicação do item no modelo. Nesse item ainda foi feita a seguinte observação por um dos especialistas: *“o desenvolvimento de guias irá depender das especificidades do produto a ser remanufaturado.”*

Concordando com essa observação, na sistemática é sugerido o uso da ferramenta Espinha de Peixe ou Diagrama de Ishikawa, que ilustrar graficamente a seqüência em que um produto está montado, por

consequente, o plano para desmontagem será determinado pelo processo que se irá realizar e pelo tipo de produto que será remanufaturado.

- item 1.7 foi avaliado com baixo grau de consenso, em que 63% dos especialistas consideram que a sistemática utiliza orientações de DFRem para a adequação de produtos para a remanufatura, com boa evidência deste critério no modelo;
- item 1.8 foi avaliado com baixo nível de consenso, também com 63%, em que os especialistas julgam que as informações das especificações técnicas do produto original são apreciadas no modelo.

No entanto, o baixo grau de consenso obtidos nessas avaliações não obriga submeter esses itens a uma segunda rodada de avaliação, visto que somente as questões que não obtêm o consenso de opinião, ou com variabilidade nas respostas, são as que irão compor a segunda rodada de inquérito Delphi (RAYENS; HAHN, 2000). Todavia, isso pode indicar que essas questões necessitam de especial atenção quando da reformulação ou melhoramento da estrutura da sistemática. A Figura 40 mostra os resultados obtidos com as questões analisadas.

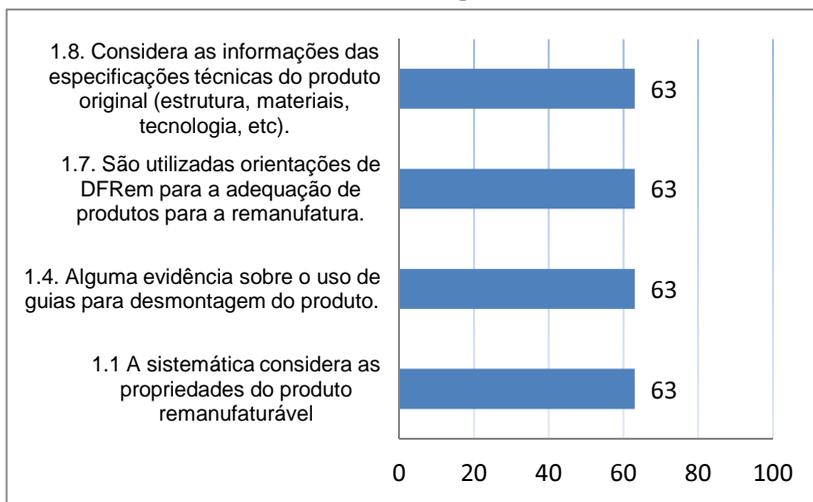


Figura 40: Pareceres dos entrevistados sobre o uso de guias e orientações de remanufatura para o redesign do produto.

Assim, no critério de julgamento Aplicabilidade não houve o registro de falta de consenso em qualquer das questões avaliadas, indicando que na percepção dos especialistas a sistemática de ReDFRem atende ao estabelecido neste critério, conforme apresenta dados da

Tabela 09 de notas ponderadas das avaliações, calculadas a partir do sistema de pontuação atribuído a cada categoria da escala de votação.

Critério	Questões	Evidência do critério	
		Nível de Consenso	Nota ponderada
<i>Aplicabilidade</i>	1.5, 1.6, 1.10	Alto	0,600 a 0,712
	1.2, 1.3, 1.9	Médio	0,537 a 0,550
	1.1, 1.4, 1.7, 1.8	Baixo	0,237 a 0,375
	-	Nenhum	-

Tabela 09: Resultado da avaliação do critério Aplicabilidade na primeira rodada Delphi.

### 6.1.1.2 Critério Adequacidade

No critério de julgamento Adequacidade que trata das limitações e propriedades do produto e do processo de remanufatura, os especialistas mostraram-se mais positivos quanto a identificação dos itens ligados aos aspectos ambientais para o redesign de produtos remanufaturáveis, tais como a redução de resíduos, do consumo de energia e do ciclo de vida para reutilização e recuperação de peças para produtos que terão mais de um ciclo de uso, observadas nos itens 2.9, 2.10 e 2.11. Estes obtiveram em geral ‘boa evidencia do critério’ segundo pareceres dos respondentes:

- item 2.9 avalia se a sistemática faz considerações ambientais durante o redesign do produto, este obteve grau médio de concordância, atingindo 76% de consenso. Neste item dar-se destaque a seguinte contribuição feita por um dos especialistas entrevistados: *“A principal ferramenta que é utilizada pela sistemática é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Ela auxilia na determinação dos impactos ambientais do produto, mas não oferece diretrizes para a mudança do projeto. No entanto, torna-se importante identificar as normas ISO ou de certificação que considerem essa intenção”*

Na verdade a sistemática propõe um estudo simplificado de materiais e de energia que impactam no ciclo de vida do produto existente a ser reprojetoado, bem como uma análise ambiental do produto e do processo de remanufatura. O objetivo é servir de apoio a tomada de decisões durante o redesign do produto em si e sobre a recuperação das cargas ambientais do processo de remanufatura provenientes do processo de limpeza, substituição de peças e componentes e de durabilidade dos materiais e, com base nessas especificidades, projetar

peças reutilizáveis e recuperáveis. Ainda assim, convém reavaliar posteriormente este item durante os melhoramentos a serem realizados na sistemática.

- item 2.10 verifica se a sistemática contempla a necessidade de se redesenhar o produto para suportar mais de um ciclo de vida, este obteve grau médio de consenso com 75% de concordância com forte evidência do critério no modelo;
- item 2.11 avalia se a sistemática contempla a reutilização e recuperação de peças, neste item se obteve grau médio de consenso segundo a percepção dos especialistas, com 75% de consenso. A Figura 41 apresenta os pareceres dos especialistas quanto a avaliação dos itens ligados aos aspectos ambientais para o redesign de produtos remanufaturáveis.

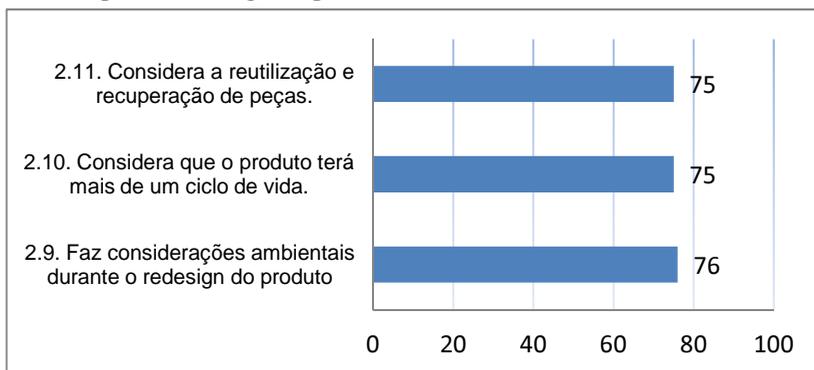


Figura 41: Pareceres dos especialistas sobre os aspectos ambientais para o redesign de produtos remanufaturáveis

O redesign modular, item 2.5, aparece neste critério com um alto grau de consenso entre os entrevistados, pontuando 88% de concordância com 'boa evidência do critério'. Este é compreendido como importante aspecto que interfere nos itens 2.7 e 2.8 que tratam da realização de atualizações e inserção de novas funções no produto, ambos obtiveram grau médio de consenso dos pareceres, com 76% de concordância. A exceção tem-se o item 2.6 que trata da atualização estética do produto, único item com falta de concordância entre os participantes da pesquisa, com apenas 51% de votos. Conforme se verifica na Figura 42.

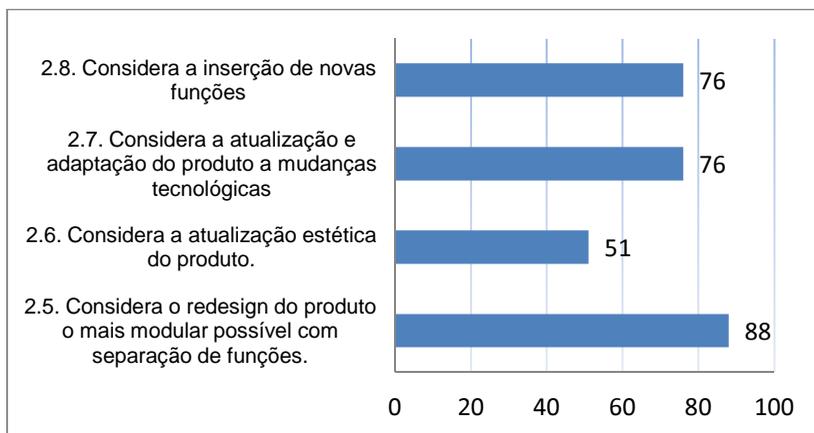


Figura 42: Pareceres dos especialistas sobre o redesign modular e as atualizações e inserção de novas funções no produto.

A redução de peças e dos elementos de juntas e dos métodos de fixação, incluindo suas especificidades, itens 2.3 e 2.4 ambos com 63% de consenso, foram pontuados com boa evidência do critério, mas com baixo grau de concordância segundo a percepção dos especialistas. Com o fim de melhorar a análise destes itens, destaca-se a seguinte observação feita por um dos especialistas:

“Existem também outras diretrizes importantes que devem ser consideradas durante o redesign de um produto, de modo que ele seja mais fácil de ser remanufaturado”.

Neste caso, acredita-se que tal referência sugere que a sistemática não contempla algumas diretrizes de remanufatura, ou ainda, sugere verificar de que forma os elementos para facilitar a remanufatura do produto poderiam ficar mais evidentes e fáceis de identificar no modelo.

Os itens 2.1 e 2.2 que tratam dos aspectos de montagem e desmontagem de produtos, identificados no capítulo II como questões chaves das características técnicas principais do produto remanufaturável, atingiram grau baixo de concordância entre os entrevistados, ambos com 63% de concordância dos pareceres dos entrevistados sobre a boa evidência desses itens no modelo. Na Figura 43 são ilustradas as questões que avaliaram a sistemática nos aspectos montagem e desmontagem, bem como nas especificidades de juntas e dos métodos de fixação que facilitam a remanufatura.

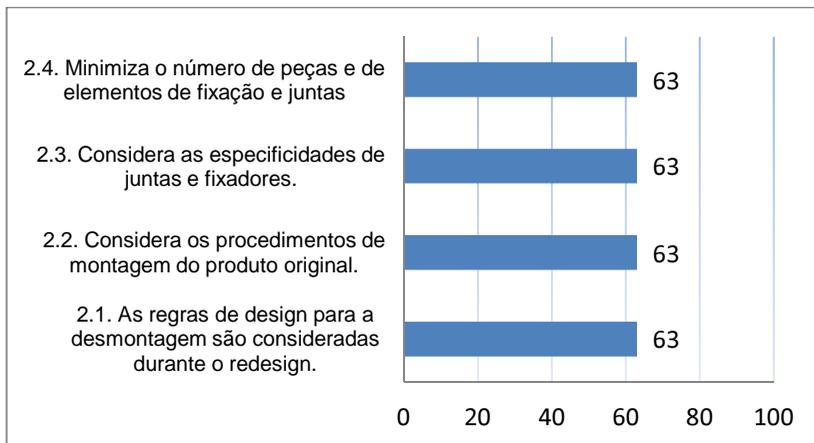


Figura 43: Pareceres dos entrevistados sobre os aspectos montagem e desmontagem do produto.

Assim, no critério **Adequacidade** já se evidencia opiniões não consensuais, conforme pode ser observado na Tabela 10 de notas ponderadas das avaliações, calculadas a partir do sistema de pontuação atribuído a cada categoria da escala de votação.

Critério	Questões	Evidência do critério	
		Nível de Consenso	Nota ponderada
Adequacidade	2.5	Alto	0,762
	2.7, 2.8, 2.9, 2.10, 2.11	Médio	0,387 a 0,587
	2.1, 2.2, 2.3, 2.4	Baixo	0,337 a 0,575
	2.6	Nenhum	0,050

Tabela 10: Resultado da avaliação do critério Adequacidade na primeira rodada Delphi.

#### 6.1.1.3 Critério Estrutura

Nesse critério de julgamento, inicialmente são considerados os pareceres sobre os itens relacionados a representação gráfica da sistemática para orientar o processo de redesign de produtos para a remanufatura, que são contemplados pelas questões 3.1, 3.2 e 3.3. Na pesquisa, o item 3.1 que avalia se a estrutura da sistemática é simples, fácil de usar, este não obteve o consenso de opiniões, atingiu apenas 50% de consenso dos pareceres. O item 3.2 atingiu baixo grau de consenso com 63% de concordância das opiniões sobre a **pouca evidência do critério** no modelo, sinalizando a existência de dúvidas

quanto a interpretação e entendimento do mesmo. O item 3.3 também obteve baixo grau de consenso, apenas 63% dos especialistas concordam que existe objetividade na estrutura do modelo. Algumas sugestões recebidas dos especialistas quanto a estrutura gráfica da sistemática foram:

“É possível entender a sistemática, entretanto a necessidade de exemplos faz com que seu entendimento não seja fácil. Considera-se necessário trabalhar as informações da sistemática para uma linguagem mais simples, principalmente para facilitar a utilização desse sistema por operadores em empresas, etc.”

“Observa-se que a sistemática segue uma estrutura bem coerente obedecendo aos requisitos de redesign; estrutura funcional; redesign conceitual e redesign detalhado para o produto remanufaturado. A sistemática é objetiva, mas possui alguns itens que são transitórios nos quais acabam tornando-se um pouco confuso.”

Considerando que esta primeira análise também objetiva realizar ajustes na sistemática nos critérios de avaliação negativa ou sem o consenso de opiniões, tais observações servirão de orientação para as melhorias a serem realizadas na Sistemática de ReDFRem. A Figura 44 apresenta o resultado dos pareceres dos entrevistados sobre os requisitos ligados a representação gráfica da estrutura da sistemática para realizar o redesign do produto remanufaturável.

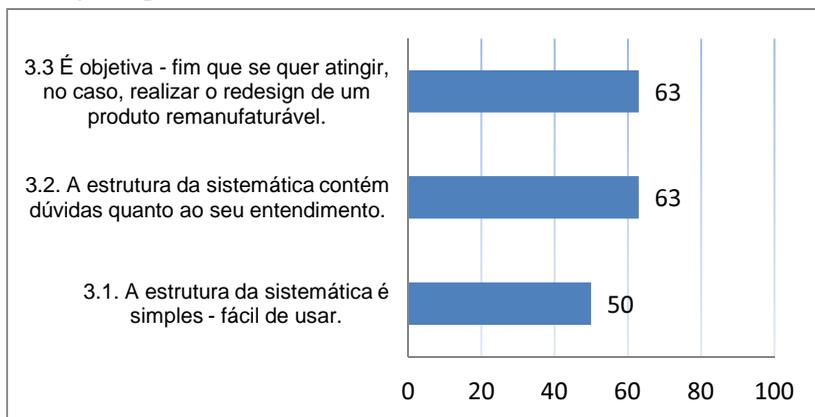


Figura 44: Pareceres dos entrevistados sobre a representação gráfica da estrutura da sistemática para realizar o redesign do produto remanufaturável.

Nos requisitos em que foram analisadas as etapas, procedimentos e atividades ilustradas para orientar o processo de redesign de produtos para a remanufatura verificou-se:

- item 3.4 que avalia se todos os componentes e os fluxos existentes no sistema são identificados, como fases, tarefas e atividades, este não alcançou o consenso de opiniões, somando-se apenas 50% dos pareceres. Neste item foi feita a seguinte observação por um dos especialistas: *“As fases estão bem definidas, mas acho que não chegam ao nível de detalhe coerente para tarefas e atividades.”*
- item 3.5 que avalia a combinação de todos os elementos do sistema, associando as informações técnicas de projeto às atividades a serem realizadas para o redesign do produto, também obteve grau baixo de consenso, com 63% de votação, mas com a evidência muito forte desse critério (Figura 45).

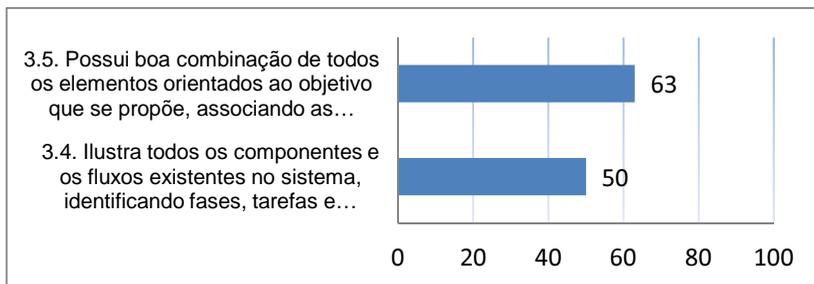


Figura 45: Pareceres dos entrevistados sobre as etapas, procedimentos e atividades ilustradas para orientar o processo de redesign de produtos para a remanufatura.

Concluí-se, portanto, que este critério parece ser o mais crítico na percepção dos especialistas, visto que dos requisitos analisados nenhum obteve um alto grau ou grau médio de consenso, conforme pode ser verificado na Tabela 11 que apresenta os dados do resultado da avaliação do critério Estrutura.

Critério	Questões	Evidência do critério	
		Nível de Consenso	Nota ponderada
Estrutura	-	Alto	-
	-	Médio	-
	3.2, 3.3, 3.5	Baixo	0,150 a 0,375
	3.1, 3.4,	Nenhum	0,200 a 0,325

Tabela 11: Resultado da avaliação do critério Estrutura

A partir das análises do primeiro questionário que avalia a Sistemática de Redesign para Remanufatura, verificou-se que em três

questões o consenso de opinião não foi alcançado, as questões 2.6 do critério Adequacidade e as questões 3.1 e 3.4 do critério Estrutura.

Nas questões que avaliaram a Adequacidade do produto para o atendimento às especificidades da remanufatura, os especialistas julgaram que alguns requisitos propostos necessitam de maiores destaques no modelo, pois 40% das questões avaliadas obtiveram baixo grau de consenso.

Nas questões que avaliaram a estrutura da sistemática, os especialistas parecem ainda mais divididos, em que se observou um baixo grau de consenso em 60% das questões, principalmente ligadas aos requisitos que avaliaram a representação gráfica das fases do processo de redesign, e foi também onde se obteve duas questões não consensuais. Constatação reforçada pela contribuição feita por um dos especialistas da área da indústria:

“É preciso esclarecer melhor o método de Redesign”.

Melhor resultado observou-se na avaliação do critério Aplicabilidade, em que 70% dos itens avaliados foram considerados com boa evidencia do critério na percepção dos especialistas. Nesse critério, obteve-se a seguinte contribuição de um especialista da academia:

“O modelo é claro, sintético e objetivo. Com certeza, em publicações futuras, será necessário aplicar este modelo a um exemplo, mesmo que teórico, de remanufatura. Assim, o modelo fica mais vivo e muito mais fácil de entender.”

Além dos itens em que o consenso não foi alcançado, também pedem especial atenção quando da reformulação ou melhoramento da sistemática aqueles que obtiveram baixo grau de concordância. Especificamente no critério Aplicabilidade, os itens que obtiveram baixo grau de consenso representam 40% da totalidade das questões. No critério Adequacidade, os itens avaliados com baixo grau de consenso representam 36% das questões avaliadas, enquanto que o critério Estrutura possui 60% das questões avaliadas com baixo grau de consenso, notadamente, o mais crítico na percepção dos especialistas.

Após essas constatações, o segundo questionário foi estruturado, contendo somente as questões 2.6, 3.1 e 3.4, pois não são incluídos na fase subsequente os itens para os quais o consenso foi alcançado. O resultado desta avaliação é apresentado e discutido na próxima seção, em que os especialistas são solicitados a reconsiderar o voto dado no

primeiro questionário, tendo em conta as opiniões do grupo como um todo.

## 6.2 SEGUNDA RODADA DELPHI

A segunda rodada da pesquisa foi realizada durante o período de 16 de maio a 30 de junho de 2011. Nesta segunda aplicação, obteve-se a participação de apenas um especialista da indústria da área de duas rodas e quatro da área acadêmica, somando-se um total de cinco participantes. O número de respondentes da academia foi mantido, no entanto, a desistência dos participantes da indústria foi maior. No total, o percentual de desistência foi de 37%, pouco mais que o previsto pelo método que é de 30%. A Tabela 12 apresenta o perfil dos especialistas que participaram da segunda rodada da pesquisa.

Especialistas		Nível de formação			Ocupação profissional			Experiência profissional (anos)		
Área	No Par	Grd Esp	MS c	Dr P/D	Gerente Diretor	Pesq. Ensino	Área Técnica	- 10	10 a 20	+ 20
Indústria	01	0	01	0	01	0	0	0	0	01
Academia	04	0	03	01	0	04	0	02	02	0

Tabela 12: Perfil dos especialistas que participaram da segunda rodada da pesquisa

Fonte: pesquisa de campo – mai/jun de 2011

Mesmo com o percentual de desistência apresentado, a qualidade dos especialistas é mantida e o número de participantes é aceitável, pois estudos com o método Delphi demonstraram que é possível se chegar a resultados conclusivos da pesquisa até mesmo com uma pequena amostra (SKULMOSKI; HARTMAN; KHRAN, 2007).

Isto posto, o segundo questionário foi elaborado e, juntamente com a segunda aplicação, foi enviado um relatório com gráficos e percentuais das respostas do primeiro questionário, bem como a sistemática de ReDFRem, para que o especialista pudesse rever suas respostas originais e fazer uma reavaliação das questões. Neste segundo questionário foi obrigatória a inserção de comentários e sugestões pelos especialistas.

Segue-se o resultado do segundo questionário Delphi.

### 6.2.1 Avaliação do segundo questionário

Com relação às avaliações das questões formuladas aos especialistas na segunda rodada Delphi, essas obtiveram os seguintes resultados:

- item 2.6 do critério Adequacidade que trata da atualização estética do produto, obteve alto grau de concordância com 80% de consenso entre os entrevistados, pontuado com ‘boa evidência do critério’. Este resultado demonstra uma mudança significativa da primeira para a segunda fase, em que os argumentos dos especialistas se contrapõem ao resultado do primeiro questionário, conforme se verifica pelas justificativas dadas.

*“A medida que se modifica a forma e a tecnologia, muda a estética”.*

*“No que pode avaliar (a sistemática) atende toda a parte da estética do produto”.*

*“A etapa 3 considera a atualização da estética através das funcionalidades que podem apresentar no produto.”*

*“Compreende-se que a atualização estética do produto pode estar vinculada à estrutura funcional do sistema, mais especificamente na etapa DESENVOLVER sob o item atualização das funções, e dentre essas está a estética”.*

Concordando com as declarações, de fato, os itens 2.7. e 2.8 que obtiveram avaliação positiva dos entrevistados, abordam a atualização e adaptação do produto incluindo a inserção de novas funções que está a estética, logo, é evidente que o requisito ‘atualização estética do produto’ é atendido na sistemática. Contudo, é importante verificar como estes itens podem ser representados na sistemática de forma a deixar claro que as diversas atualizações do produto devem ser incluídas no processo de redesign.

Ainda com relação ao item 2.6, entende-se que a atualização na remanufatura é uma estratégia para equiparar os produtos remanufaturados aos modelos atuais equivalentes. No entanto, muitos produtos remanufaturados não exigem a inserção de novas funções, principalmente estéticas, como peças automotivas e outras de reposição, definindo que algumas mudanças no projeto irão se adequar as especificidades de remanufatura. Mesmo assim, considera-se que o valor

estético do produto é elemento fundamental e relevante para adequar o produto aos interesses gerais do consumidor.

- o item 3.1 avalia se a sistemática é clara, não contém dúvidas quanto ao seu entendimento. Este item obteve alto grau de concordância com 80% de consenso entre os entrevistados, porém sinalizando como ‘alguma evidência do critério’ na sistemática, o que sugere a necessidade de acrescentar mais elementos para sua interpretação. Este resultado se contrapõe aos comentários recebidos, que fazem críticas positivas, conforme se verifica nos argumentos:

*“Não ocorre dúvidas, mas é preciso bastante atenção com relação ao seu uso”*

*“No que pude observar a estrutura é clara sem dificuldades em ser seguida!”*

*“A sistemática possui um grau de informações e etapas compreensíveis”*

*“Assim como o processo originário de fabricação, o processo de redesign (do produto) deverá ser claro para quem o produzir, contribuindo ainda mais para a remanufatura desses produtos”*

O item 3.4 avalia se a sistemática ilustra todos os componentes e fluxos existentes no sistema, identificando fases, tarefas e atividades. Este item obteve alto grau de concordância com 80% de consenso entre os entrevistados, sinalizando também a existência de ‘alguma evidência do critério’ na sistemática. As críticas e sugestões recebidas foram:

*“O fluxo é um pouco complicado, sendo necessário estar bastante atento para o seu entendimento”*

*“É importante simplificar toda a estrutura através da redução de algumas ferramentas em cada etapa”*

*“A estrutura deve ser simplificada, haja vista que o processo de redesign deverá resgatar as informações do produto original ou fazer novas adaptações. Para ser tecnicamente viável, acredito que a simplicidade é forte peso que irá valorizar ainda mais a sistemática”*

Este item parece dividir a opinião dos especialistas, visto que as outras declarações feitas se contrapõem as anteriores:

*“As informações do modelo apresentam-se muito fácil de serem seguidas e aplicadas na prática”*

*“A sistemática possui um esquema de informações simples e compatível aos objetivos para a sua aplicação”*

Considerando apenas os comentários e justificativas dos pareceres dados pelos especialistas, a divisão de opiniões parece que ainda se mantém sobre o item 3.4, mesmo com a concordância alcançada, contudo, o resultado da avaliação indica a ocorrência de dúvidas para a sua interpretação. Portanto, é necessária a realização de modificações na estrutura da sistemática para melhor uso e aplicação de conteúdo. O resultado dos pareceres dos entrevistados sobre a segunda aplicação Delphi é apresentado na Figura 46.

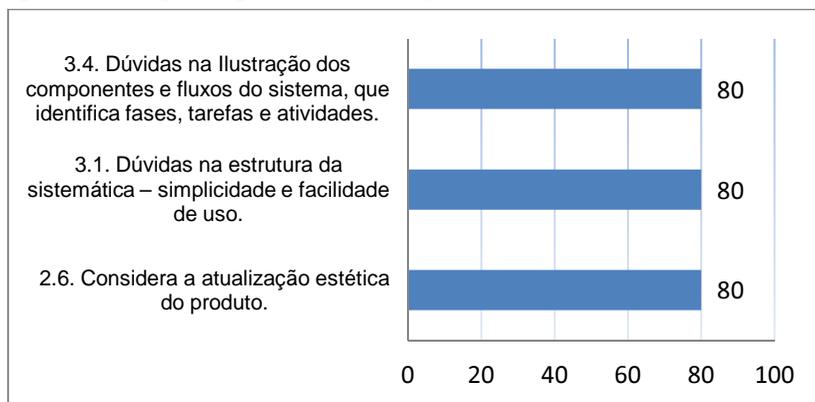


Figura 46: Pareceres dos entrevistados sobre a segunda aplicação Delphi.

Diante dessas análises, apresentam-se na Tabela 13 os resultados das avaliações não consensuais sobre a percepção dos entrevistados do segundo questionário, bem como é apresentado o cálculo da estabilidade da distribuição dos votos entre a primeira e segunda aplicação Delphi.

<i>Questões</i>	<i>Primeira aplicação</i>		<i>Segunda aplicação</i>		<i>Varição de posicionamento</i>
	Nível de consenso	Nota ponderada	Nível de consenso	Nota ponderada	
2.6	Nenhum	0,050	Alto	0,620	19%
3.1	Nenhum	0,200	Alto	0,260	19%
3.4	Nenhum	0,325	Alto	0,620	11%

Tabela 13: Resultados das avaliações não consensuais sobre a percepção do entrevistado quanto à evidência dos critérios da segunda aplicação Delphi

Nesta segunda aplicação todas as questões foram consensuais, entretanto, as questões 2.6 e 3.1 apresentam alterações no posicionamento dos respondentes com variação superior ao valor de referência adotado para definir a estabilidade da distribuição dos votos

que  $\epsilon < 15\%$ . A exceção tem-se o item 3.4 que atingiu a condição de estabilidade entre a primeira e segunda rodada da pesquisa, o que determina o fim da avaliação deste item.

Segundo o critério adotado para determinar o encerramento da pesquisa, os itens que apresentaram variação de posicionamento devem ser submetidos a uma nova avaliação em uma terceira rodada de aplicação Delphi. Contudo, um resultado consensual foi obtido na segunda rodada da pesquisa, sendo este o objetivo principal da segunda aplicação Delphi, atingir o consenso. Ademais, o número de questões a ser submetidas à avaliação dos especialistas é pequeno e de pouca representatividade para justificar a prolongamento da pesquisa, já que no questionário inicial existiam vinte e seis (26) questões, não sendo justificável realizar uma terceira rodada Delphi aos especialistas com apenas dois itens. Diante disso, definiu-se não realizar uma terceira rodada e adotar o encerramento das avaliações com os resultados da segunda aplicação.

Para a conclusão final desta análise, é apresentada uma discussão com os resultados das duas interações Delphi na próxima seção.

### 6.3 DISCUSSÃO SOBRE AS DUAS APLICAÇÕES DELPHI

A análise dos resultados das duas aplicações Delphi mostrou que nas questões não consensuais, houve mudança significativa de posicionamento de votos da primeira para a segunda aplicação da pesquisa, contudo, duas questões obtiveram avaliação desfavorável, indicando que embora o grau de consenso tenha sido alto na segunda aplicação, ainda permanecem dúvidas sobre essas questões, confirmando o diagnóstico do primeiro questionário. Observou-se ainda que a ocorrência de questões de avaliações não consensuais, e posteriormente desfavoráveis, trata basicamente da estrutura da sistemática, sendo também o critério que pontuou baixo nível de consenso no primeiro questionário. O que pode ser verificado, por exemplo, pela questão 3.1 que em ambas as aplicações mantiveram a nota ponderada de valor baixo.

A questão 2.6 do critério Adequacidade que verifica se a sistemática propicia a atualização estética do produto, não obteve o consenso na primeira aplicação Delphi. Contudo, na segunda aplicação obteve um alto grau de consenso favorável, indicando forte mudança de posicionamento das opiniões dos especialistas. Assim sendo, cabe observar que no primeiro questionário as questões que tratavam da inserção de novas funções no produto durante o redesign, incluindo

adaptação a mudanças tecnológicas, obtiveram avaliação consensual positiva, evidenciando que as atualizações do produto são consideradas pela sistemática, como bem explicado por um dos participantes da pesquisa:

*“A medida que se modifica a forma e a tecnologia, muda a estética”*

Portanto, explica-se a mudança de posicionamento dos votos.

Embora o pequeno número de questões da segunda aplicação, o resultado obtido ao término da pesquisa entre as duas aplicações, confirmou as falhas de estruturação do modelo que foram evidenciadas na primeira aplicação. Mesmo assim, considerando o quadro geral das avaliações, o posicionamento geral dos especialistas tendeu a ser favorável em quase todos os itens que avaliaram a Sistemática de Redesign para Remanufatura, demonstrando um resultado qualitativo positivo quanto aos procedimentos e as atividades necessárias para orientar o processo de redesign de produtos para a remanufatura.

Uma vez concluídas as análises do resultado da aplicação Delphi para verificação de falhas e de viabilidade da sistemática, o próximo passo para a conclusão desta pesquisa é realização de ajustes, conforme segue.

#### 6.4 A SISTEMÁTICA DE REDESIGN PARA REMANUFATURA – REMODELAÇÃO

De acordo com os resultados da pesquisa Delphi, a representação gráfica da sistemática (estrutura) que orienta o processo de redesign de produtos para a remanufatura é a que requer maior atenção, haja vista que os itens avaliados por este critério obtiveram baixo nível de concordância, falta de consenso ou avaliação negativa. Não obstante, a sistemática segue uma estrutura bem coerente obedecendo aos requisitos de redesign, segundo observação dos especialistas. Contudo, simplificar a linguagem de representação, principalmente no que diz respeito a quantidade de informações representadas que ilustra os componentes e os fluxos existentes no sistema, são as sugestões recebidas que apontam como importante a visualização clara das atividades a serem realizadas pelo sistema.

O uso de guias para auxiliar o redesign de produtos para remanufatura, no geral, obteve um baixo grau de consenso. Posicionamento igual foi evidenciado no item que avaliou o fluxo de materiais e energia que impactam sobre o ciclo de vida do produto a ser

reprojetado, sendo necessário, portanto, evidenciar esses itens no modelo. Considerando os resultados das avaliações e mais as sugestões e críticas recebidos dos especialistas, foram consideradas as seguintes diretrizes para realizar mudanças na sistemática a fim de torná-la mais clara, objetiva e aplicável.

- Simplificar a forma (estrutura);
- Simplificar textos (informações);
- Eliminar elementos transitórios;
- Eliminar representações desnecessárias;
- Evidenciar atividades e tarefas;
- Evidenciar o fluxo das atividades e tarefas;
- Evidenciar uso de guias de desmontagem do produto;
- Evidenciar considerações ambientais sobre o ciclo de vida do produto;

A sistemática em sua forma básica segue o princípio da modelagem utilizada, com entradas e saídas, restrições e ferramentas de apoio, cuja proposta é diferenciar claramente as restrições associadas a cada fase, bem como as atividades e ferramentas relevantes ao processo de redesign. No entanto, considerando os pareceres dos especialistas é necessário simplificar sua estrutura.

Inicialmente considera-se a eliminação de representações desnecessárias e elementos transitórios, como algumas atividades e ferramentas que somente aparecem em casos específicos de redesign, por exemplo, peças automotivas dispensam atualizações estéticas.

Analisando a função da sistemática que diz respeito ao auxílio às atividades de redesign de produtos remanufaturáveis, esta deverá, primeiramente, ajudar a identificar e definir as informações necessárias para conceber soluções de redesign, que são aquelas relevantes para a obtenção do produto remanufaturável e que atenda as funções de: facilidade de desmontagem e remontagem, facilidade de limpeza e inspeção, materiais resistentes ao processo de remodelação, incluindo ainda as informações ambientais relacionadas ao ciclo de vida do produto. Assim sendo, considera-se que a definição e análise das informações necessárias ao redesign é fase fundamental para subsidiar o processo de redesign.

Em um segundo momento, a sistemática deverá conduzir a elaboração de soluções formais para o produto ou peça a ser remanufaturada, logo, as atividades relacionadas devem ajudar a desenvolver uma estrutura física e formal a partir dos parâmetros ou

requisitos de redesign especificados na fase anterior. Entende-se, portanto, que conceber fisicamente o conjunto de funções que o produto ou peça deverá desempenhar durante o processo de remanufatura é fase primordial de redesign.

Diante do que foi exposto e atendendo ao estabelecido nas diretrizes de reformulação da sistemática, definiu-se apenas duas fases para a configuração da nova estrutura: a fase indutiva, que tem por objetivo identificar e definir as especificações e conceitos de redesign, e: fase configurativa, que tem por objetivo determinar a melhor opção de redesign (projeto) para adaptar a estrutura física e formal do produto existente ao processo de remanufatura. A Figura 47 apresenta a Sistemática de Redesign para Remanufatura em sua forma final.

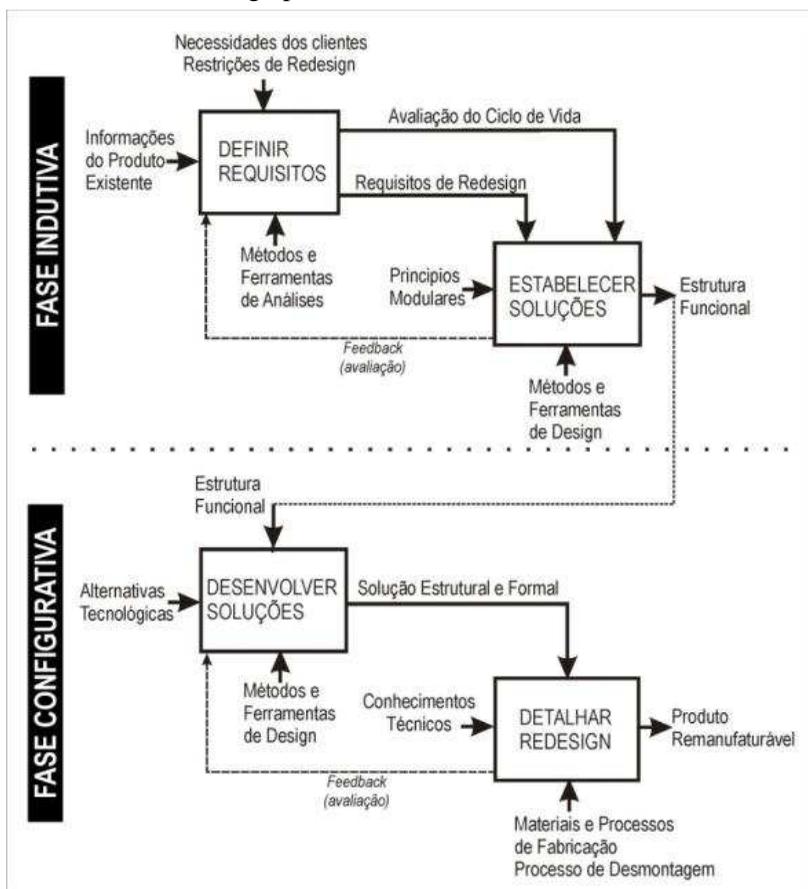


Figura 47: Sistemática de Redesign para Remanufatura

Observando a Figura 47 e recorrendo ao diagrama IDEF0 utilizado como princípio de modelagem da sistemática (mostrado na Figura 25 do capítulo 3), nota-se que as atividades principais realizadas no sistema são decompostas em subatividades. Logo, as atividades principais podem formar hierarquias decompostas por diversas subatividades durante seu detalhamento, cujas entradas e saídas receberão informações relativas às entradas e saída realizada pela subatividade anterior. Essa decomposição facilita tanto a análise quanto a compreensão de cada nível de detalhamento das atividades.

Uma vez que não existe limite para os níveis de decomposição, conforme princípio de modulação, o detalhamento de uma atividade da sistemática em subatividades irá depender da necessidade e complexidade de redesign da peça ou produto existente a ser remanufaturado, de modo que a equipe de desenvolvimento poderá definir os passos seguintes do processo de redesign em razão das limitações e necessidades definidas na fase anterior, permitindo, inclusive, a retroalimentação após avaliação de cada fase, caso necessário.

Para cada fase da sistemática são identificadas as atividades principais para realizar o objetivo de redesign: tornar o produto existente dotado das características de remanufaturabilidade. Sendo assim, as atividades tidas como necessárias ao processo são: definir os requisitos de redesign, estabelecer soluções com base nos requisitos definidos, desenvolver as soluções e detalhar redesign para inserir as mudanças no projeto do produto existente.

As entradas para a realização das atividades principais são informações que não dependem da efetivação e completeza da atividade anterior como, por exemplo, a existência de informações sobre alternativas tecnológicas disponíveis para dar início a atividade principal 'desenvolver soluções' da fase configurativa. Essas informações já podem ser levantadas a partir da definição dos requisitos de redesign. Isso significa que dependendo das necessidades de redesign do produto ou peça, as atividades principais podem ser iniciadas tanto em paralelo como independentes uma das outras.

Conforme mostra a Figura 47, a Sistemática de Redesign para Remanufatura está assim definida:

#### **6.4.1 Fase Indutiva**

É aquela responsável pela síntese das características de remanufaturabilidade que o produto deverá ter, cujas atividades

principais estão relacionadas com a definição dos requisitos que nortearão o estabelecimento de soluções funcionais e estruturais para o produto ou peça. As soluções funcionais são aquelas relacionadas às etapas do processo de remanufatura que o produto ou peça deverá desempenhar. As estruturais dizem respeito às configurações necessárias ao processo de desmontagem e remontagem, a identificação de peças e as características de juntas e fixadores. Havendo a necessidade de atualizações do produto, tais funções também poderão ser listadas durante o processo.

Nessa fase, assumindo que o produto existente possui potencial para ser remanufaturado, os requisitos de redesign são definidos em função das necessidades do cliente, que pode ser tanto o usuário final do produto ou peça, quanto a empresa remanufatureira, ou ambos. Considera-se também as propriedades que o produto deverá conter para desempenhar com sucesso as etapas do processo de remanufatura.

Para iniciar o processo de redesign, portanto, as informações técnicas do produto existente devem estar disponíveis e claramente estruturadas para definição das restrições associadas às funções que o produto ou peça deverá desempenhar para atender ao processo de remanufatura e às necessidades detectadas. Assim, os requisitos de redesign são definidos a partir das informações do produto existente, das necessidades do cliente, das etapas necessárias ao processo de remanufatura e das informações ambientais do ciclo de vida do produto.

As atividades definidas para esta fase são:

#### 6.4.1.1 Definir Requisitos de Redesign

Esta atividade dispõe toda informação para adaptação da estrutura física do produto existente ao processo de remanufatura. Para isso é necessário identificar as restrições associadas às novas funções que o produto irá desempenhar, e que podem limitar as possibilidades de soluções remanufaturáveis. As novas funções para o produto ou peça são definidas a partir do processo de remanufatura, como a facilidade de desmontagem e remontagem, a facilidade de limpeza e inspeção, o uso de materiais resistentes ao processo de remodelação. Além disso, o redesign deve melhorar o desempenho ambiental durante o ciclo de vida do produto e realizar atualizações (funcional, tecnológica e estética), se necessário.

As atualizações estéticas, funcionais e tecnológicas são desejáveis, contudo são sazonais e dependem dos objetivos e necessidades estabelecidas no início do redesign. Portanto, a lista de

necessidades, incluindo as atualizações, pode ser obtida a partir de pesquisa junto aos clientes, considerando o usuário final e/ou a empresa remanufatureira.

As restrições de redesign podem ser identificadas a partir da análise das diferentes propriedades do produto existente, usando a matriz RemPro (SUNDIN, 2004) que relaciona o produto existente com as etapas do processo de remanufatura. A matriz permite avaliar as diferentes propriedades do produto para identificar que etapa do processo de remanufatura é um problema para torná-lo remanufaturável. Isto permite apontar que característica da peça deverá ser melhorada ou modificada pela equipe de desenvolvimento para atender as novas funções estabelecidas.

Uma vez identificadas as necessidades e as restrições para o redesign, se podem definir os requisitos de redesign.

Para o redesign de produtos completos ou peças mais complexas, se propõe para definição dos requisitos de redesign o uso adaptado da matriz da casa da qualidade (HOQ), conforme Armacost; Balakrishnan; Pet-Armacost (1999), que incorpora as características dos atributos de remanufaturabilidade que um produto deve ter para ser facilmente remanufaturado. Os componentes da matriz de relacionamento entre os requisitos do cliente e as características de engenharia do produto existente fornecem os requisitos técnicos. Os requisitos são transformados em características técnicas de engenharia que são aquelas que devem cumprir os requisitos de redesign. Um exemplo de aplicação desta matriz pode ser vista na Figura 15 do capítulo 3.

Ainda nesta atividade, importa a avaliação das cargas ambientais associadas às características de remanufaturabilidade inseridas no produto ou peça. Para isso recomenda-se um estudo de ACV, cujas etapas seriam:

*Definição dos objetivos e limites do estudo:* nesta etapa faz-se um planejamento para definir a abrangência da avaliação, os objetivos, bem como a metodologia a ser adota para a coleta de dados. Considerando que o processo de remanufatura está relacionado ao reuso e ao reaproveitamento, peças são descartadas e/ou remodeladas (recuperadas), gerando resíduos que deverão ter um fim ambientalmente adequado, e ainda, peças novas serão utilizadas no lugar das que foram descartadas. A remanufatura irá prolongar o ciclo de vida do produto e fazer o reuso de peças e componentes, mas também terá impacto nas diferentes etapas do processo. Portanto, a avaliação deve representar não

só o impacto causado pelo produto avaliado da manufatura inicial, mas também as sucessivas remanufaturas que o produto poderá passar.

*Realização do inventário:* é feito um levantamento de todas as emissões que ocorrem ao longo de todo o ciclo de vida do produto (quantidades de energia e matérias-primas utilizadas). A remanufatura realiza em seu processo as etapas de desmontagem, limpeza, remodelação e troca de peças. Durante essas atividades muitas substâncias estranhas são removidas, como óleo e aparas de superfícies gastas, e peças são remodeladas por meio de usinagem e outros processos de recuperação. Portanto, o levantamento deve considerar que o produto terá, pelo menos, mais de um ciclo de vida completo, que devem ser incluídas as emissões e os insumos derivados das sucessivas etapas do processo de remanufatura. Assim, no inventário se faz um balanço de massa e energia, em que os fluxos de entrada tanto da primeira manufatura quanto de remanufatura, devem corresponder aos fluxos de saída para quantificar resíduos e emissões. Nesta avaliação, os pontos de produção de resíduos e sua destinação podem ser identificados para identificar as quantidades de material utilizado no sistema e que dele saem. Portanto, permite identificar, por exemplo, que etapa do processo de remanufatura ocorre maior desperdício e geração de resíduos.

*Avaliação do impacto ambiental dos ciclos de vida:* Com base na análise do inventário, se faz uma avaliação da relevância dos impactos ambientais ocasionados pela remanufatura sobre o meio ambiente, considerando: (i) classificação, em que são agrupados os dados obtidos através do inventário em categorias de impacto; (ii) caracterização, ocorre a quantificação do impacto em cada categoria utilizando dados físicos, químicos, biológicos e toxicológicos relacionados aos potenciais impactos, e: (iii) valoração, momento em que se discute a importância dos resultados da avaliação dos impactos ambientais ocasionados pela remanufatura.

Com esse direcionamento, é possível relacionar os aspectos e/ou recomendações ambientais relacionadas ao ciclo de vida do produto ou peça remanufaturável que terão que ser observadas no redesign de produtos para a remanufatura.

No entanto, para o caso do redesign de uma peça ou um produto de relativa simplicidade estrutural, os requisitos de redesign poderiam ser obtidos a partir da adaptação da lista de especificações de design para remanufatura proposta por Amezcquita et al (1995), conforme Quadro 08 do item 3.3.1.1 deste estudo. Esta ferramenta divide os

requisitos entre obrigatórios e desejáveis, classificando-os em principais e secundários. Cada requisito tem uma breve descrição das especificações mínimas dos atributos que o produto ou peça deverá alcançar para ser remanufaturável.

Ainda para o redesign de relativa simplicidade, para o estudo dos impactos ambientais, sugere-se o uso da Matriz de Análise Ambiental do Produto (peça) e a Matriz de Análise Ambiental do Processo (remanufatura) (GRAEDEL e ALLENBY, 1995), que é uma forma simplificada de considerar as cargas ambientais sobre o ciclo de vida sem, contudo, realizar um estudo completo de ACV que seria inviável pelo custo elevado e tempo necessário.

Após definidos os requisitos de redesign do produto remanufaturável e a avaliação do impacto ambiental das várias atividades realizadas durante o processo de remanufatura, se podem propor soluções funcionais de redesign para o produto.

#### 6.4.1.2 Estabelecer Soluções de Redesign

No processo de desenvolvimento de produtos, as alternativas de soluções para o produto são estabelecidas a partir da definição do conjunto de funções que o produto deverá desempenhar para atender as necessidades detectadas.

No redesign para remanufatura as funções principais para as quais o produto foi criado não são alteradas, o que se estabelecem são soluções para atender as funções do processo de remanufatura que o produto ou peça deverá passar. Por exemplo, a desmontagem é fundamental para que se cumpram todas as outras etapas do processo de remanufatura, e esse atributo do produto remanufaturável é viabilizado por meio dos sistemas de juntas e fixadores que facilitam a substituição e a reutilização de peças.

Nessa perspectiva, os princípios modulares são os mais apropriados para repetitivas remanufaturas, visto que propicia a separação de funções, reduzindo a complexidade da desmontagem e os tipos de técnicas de remontagem (SELINGER; KERNBAUM; ZETTL, 2006).

Portanto, ao dividir fisicamente um produto remanufaturável em módulos com diferentes funções, os componentes, subsistemas e mecanismos reutilizáveis poderiam ser facilmente desmontados, recuperados ou receber manutenção, ao mesmo tempo em que os componentes a serem descartados poderiam ser facilmente trocados por novos. Os princípios modulares encontrados na indústria que podem ser

estudados como referência para estabelecer soluções de redesign para o produto remanufaturável, são apresentados na Figura 48.

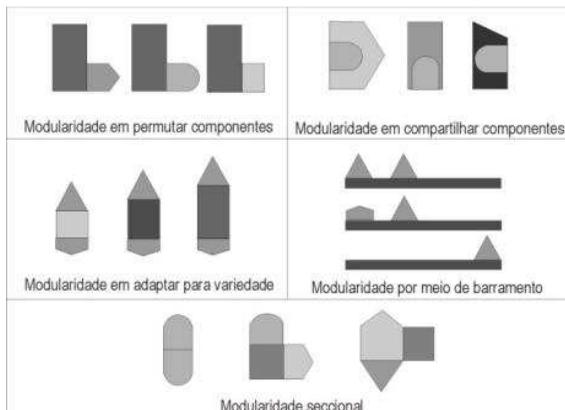
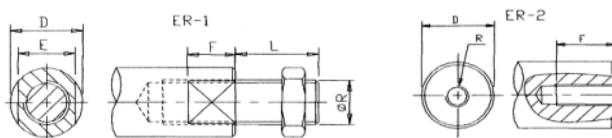


Figura 48: Princípios modulares

Fonte: Ulrish e Tung (1991 apud ROZENFELD et al, 2006)

Juntamente com a definição do princípio modular a ser utilizado, se estabelecem as grandezas funcionais com as respectivas entradas e saídas para cada função que atenderá as etapas de remanufatura. Como ferramenta de design para o apoio a realização desta atividade recomenda-se a síntese funcional, que tem por objetivo gerar uma estrutura funcional para o produto ou peça, conforme abordado no capítulo 2 no item 2.3.1 deste documento. No entanto, a cada função proposta para tornar um produto remanufaturável, é necessário um efeito físico, bem como um portador do efeito (ROZENFELD et al, 2006), fazendo-se necessário representar a estrutura funcional para essas funções. Por exemplo, para a função ‘facilitar desmontagem e remontagem’ se pode utilizar como referência o efeito de aderência, encaixe ou fricção. Essa função pode ser realizada por meio de desenhos esquemáticos que represente o princípio (Figura 49).



Encaixe com rosca tipo macho

Encaixe tipo rosca interna

Figura 49: Exemplo de tipos de encaixe

Fonte: [www.transmitem.com.br](http://www.transmitem.com.br)

Assim, as subatividades definidas para obtenção da estrutura funcional para o produto remanufaturável, podem ser:

- examinar o produto original e/ou seus desenhos técnicos das peças ou sistemas, identificando aquelas a serem redesenhadas;
- determinar as interações do sistema com o meio ambiente: conforme resultado dos estudos da ACV ou das matrizes de análise ambiental do produto e do processo de remanufatura;
- determinar e descrever o princípio modular de funcionamento do sistema, eliminar juntas ou uniões fixas e elementos de funções auxiliares, simplificando a configuração na forma da função;
- separar os grupos funcionais em módulos e representar o sistema modular por uma estrutura funcional e determinar as grandezas funcionais;
- definir a função principal e secundárias do sistema.

Como exemplo do desdobramento de uma atividade em subatividades, a Figura 50 mostra o detalhamento da atividade Estabelecer Soluções Remanufaturáveis.

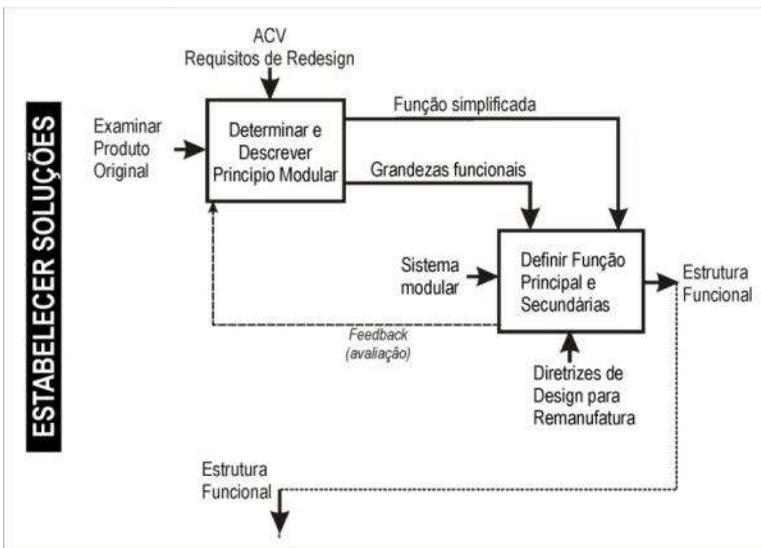


Figura 50: Desdobramento da atividade Estabelecer Soluções

Como mostra a Figura 50, para estabelecer as funções e subfunções de remanufatura que irão subsidiar a geração de soluções para a estrutura funcional, as equipes de desenvolvimento podem utilizar

o Quadro 07 das diretrizes de design para remanufatura, que abrange todos os aspectos de design do processo e do produto remanufaturável, inclusive orientações para atualizações.

Após isso, é possível desenvolver soluções remanufaturáveis. Esta é atividade da próxima fase da sistemática.

#### **6.4.2 Fase configurativa**

É aquela que dá forma as características de remanufaturabilidade da peça ou produto, revestindo-o dos atributos definidos durante a fase indutiva. As atividades principais realizadas nesta fase são aquelas relacionadas com o desenvolvimento de uma solução conceitual que irá compor o produto remanufaturável. As alternativas tecnológicas são aquelas que apresentam viabilidade quanto ao melhor aproveitamento de material, peças e componentes do produto existente, considerando as limitações de produção disponíveis para adequar os novos sistemas e subsistemas e obter uma estrutura remanufaturável. O redesign detalhado é quando se efetiva o desenho de execução, se considera um plano de desmontagem e as especificações dos materiais que devem ser resistentes para suportar as etapas de limpeza, remodelação, desmontagem e remontagem. Ao final, se deve ter um projeto com especificações detalhadas de produto remanufaturável e condizente com as necessidades detectadas no início do processo de redesign.

As atividades definidas para esta fase são:

##### **6.4.2.1 Desenvolver soluções**

A entrada para esta atividade são as alternativas tecnológicas disponíveis para tornar o produto remanufaturável, tais como processo de limpeza, tipos de materiais, processo de recuperação/remodelação e processo de desmontagem/remontagem. As alternativas tecnológicas disponíveis para as etapas do processo de remanufatura podem ser obtidas a partir de catálogos ou bancos de dados.

Para selecionar a melhor alternativa tecnológica, sugere-se utilizar perguntas que possam gerar informações que ajudem a identificar as restrições pertinentes. Por exemplo, a limpeza é importante etapa do processo de remanufatura que impacta significativamente sobre a etapa de remodelação, além disso, utiliza ou gera materiais perigosos que podem impactar negativamente sobre o homem e o meio ambiente. Assim, para selecionar a melhor opção de processo de limpeza para o produto e peças deve-se perguntar: Os agentes de limpeza oferecem riscos ambientais/para o homem? Os produtos químicos estão em

conformidade com a legislação ambiental? O processo permite a durabilidade e a funcionalidade de todos os componentes? Elimina as impurezas completamente? Exige tratamento posterior para eliminar agentes perigosos? Implica em custos diretos ou indiretos que podem interferir no custo/eficácia e competitividade da empresa? Depois de respondidas essas questões é possível selecionar o melhor processo, estar em conformidade com a legislação ambiental e reduzir ou eliminar o uso de materiais perigosos.

O Quadro 17 apresenta uma lista de perguntas sugeridas para essa subatividade do processo de redesign, segundo as características de desmontagem/remontagem, limpeza, remodelação e materiais.

<b>Características</b>	<b>Perguntas</b>
<b>Desmontagem e Remontagem</b>	Quais as restrições de uso da peça? Quais as dificuldades de remoção? A desmontagem pode danificar peças? Os elementos de fixação são de fácil separação? É possível integrar funções? Os elementos (fixação) estão padronizados de acordo com a ISO 8992:2005? É possível fazer marcação em cores (codificar)? É de fácil identificação para recuperação? (peças e materiais) Utiliza método de encaixe múltiplo por pressão? É necessário o uso de soldas? É necessário o uso peças plásticas? Isola peças de baixo custo? É fácil de desmontar? Utiliza ferramentas comuns para desmontagem? Exige mudanças de direção e sentido durante a desmontagem e remontagem? As operações de desmontagem oferecem riscos para o homem? As dimensões propostas tornam o produto mais leve e fácil de manusear?
<b>Limpeza</b>	Os agentes de limpeza oferecem riscos ambientais/ homem? Os produtos químicos estão em conformidade com a legislação ambiental? O processo permite a durabilidade e a funcionalidade de todos os componentes? Elimina impurezas completamente? Exige tratamento posterior para eliminar agentes perigosos? Implica em custos diretos ou indiretos que podem interferir no custo/eficácia e competitividade da empresa?
<b>Remodelação</b>	Possui longos ciclos de vida? (peças) Permite adaptações para recuperação, manutenção e atualização?

	Que tipo de deterioração pode ocorrer? Qual o período de deterioração previsto? Que tipo manutenção é necessário? Qual a frequência de manutenção? Mantém as especificações originais após recuperação? É possível o reuso para a mesma função original?
<b>Materiais</b>	Possui diferente tempo de vida dos outros materiais? É compatível com os outros materiais do produto? Qual o tempo de vida previsto? A composição (do material) permite a recuperação posterior? Após remodelação, mantém as características iniciais? É durável? É reciclável? É de fácil separação? Possui toxicidade? É corrosivo?

Quadro 17: Perguntas que podem ajudar a identificar restrições de remanufaturabilidade.

Fonte: adaptado de Saavedra (2010).

Assim sendo, para a atividade desenvolver soluções se considera como restrição a estrutura funcional remanufaturável definida na fase anterior, tendo como entrada as alternativas tecnológicas selecionadas para as etapas do processo de remanufatura.

Para o desenvolvimento de soluções recomenda-se usar os métodos sistemáticos de design, como matriz morfológica e matriz de interfaces (ver Figuras 10 e 11 do capítulo 2), que ajudam a dividir e visualizar detalhes e restrições associadas à estrutura funcional remanufaturável. Uma vez que a estrutura funcional estabelecida na fase anterior diz respeito somente aos componentes e peças que terão suas funções modificadas para atender as etapas do processo de remanufatura, como desmontagem e remontagem - e não a função global do produto como um todo -, as alternativas de solução propostas deverão conter somente os princípios para os quais se buscam compatibilidade física e geométrica com a estrutura do produto existente. Portanto, nesta atividade já se podem definir os sistemas e subsistemas que irão cumprir as funções para as soluções estabelecidas. As soluções podem ser propostas tanto na forma de descrições literárias como na forma de representações gráficas, utilizando *layouts* para definir a arquitetura ou modelo do princípio escolhido, estabelecendo as relações existentes entre função, forma, material e processo.

Os princípios modulares são os cerne de desenvolvimento para soluções remanufaturáveis, assim, as interfaces de conexão entre os módulos devem ser padronizadas, utilizando a Matriz de Interface

(Figura 11) para analisar e definir o tipo de interface, restrições associadas e tempo estimado de desmontagem e remontagem. Cumpridas essas subatividades, se podem definir e descrever a melhor solução estrutural e funcional (desenho conceitual) para o produto remanufaturável. Importa observar que os materiais a serem utilizados no redesign já teve sua avaliação realizada durante a seleção das alternativas tecnológicas para as etapas do processo de remanufatura, portanto, a próxima fase trata do detalhamento técnico da peça ou do produto remanufaturável para a produção.

#### 6.4.2.2 Detalhar Redesign

Nesta fase se define o conjunto de desenhos, processos de fabricação e elaboração do guia de desmontagem, incluindo um plano do processo de remanufatura, que deverão acompanhar o produto. Por isso, envolve um grande número de subatividades que demandam desvios e passos intermediários para, por exemplo, caracterizar interfaces e componentes para suportar manutenções e recuperações dos sucessivos processos de remanufatura que um produto poderá passar. As subatividades sugeridas incluem:

- Estabelecer as relações estruturais de modularidade e as interfaces entre os elementos de juntas e conexões;
- Especificar e detalhar os componentes do produto e as interfaces entre eles;
- Selecionar e/ou detalhar sistemas, subsistemas e componentes para a configuração do produto;
- Definir processo de fabricação;
- Definir e especificar formalmente a configuração do produto e a documentação do processo produtivo;
- Estabelecer um guia para a desmontagem;
- Especificar e documentar etapas do processo de remanufatura;
- Definir abordagens para a reutilização de peças descartadas durante o processo de remanufatura;
- Avaliar se o conjunto detalhado atende as funções técnicas e econômicas.

Na subatividade de definição do guia de desmontagem que deverá acompanhar o produto, a ferramenta sugerida para auxiliar na estruturação deste documento é o diagrama de causa e efeito, que em ilustra graficamente os eventos de um sistema para ajudar a identificar

as áreas onde pode haver problemas e comparar a importância relativa dos diferentes fatores.

Este diagrama é usado em DFE para ilustrar graficamente a seqüência em que um produto está montado e, no redesign para remanufatura, pode ser utilizado para seqüenciar o processo de desmontagem e explorar todas as entradas que resultam em uma única saída. Para isso as entradas podem ser organizadas em materiais, fixadores e juntas e estrutura do produto, e para a operacionalização destes, organizadas em procedimentos e ferramentas/equipamentos.

Para finalizar, ao concluir esta atividade a equipe de desenvolvimento terá as descrições de engenharia do produto remanufaturável, em que serão especificados todos os componentes, capacidades, dimensões, desgaste, detalhamento de peças e tolerâncias. Definem-se ainda forma e dimensões, materiais, acabamentos, bem como os processos de fabricação, de desmontagem e de remanufatura.

Durante a execução das atividades descritas na sistemática e, dependendo das necessidades de especificação do produto, se faz necessário executar algumas subatividades em paralelo ou repeti-las em um nível maior de informação para fazer inclusões ou alterações nas atividades anteriores. Assim, ao final de cada fase, deve ser feita uma avaliação para verificar se os resultados pretendidos foram alcançados. Para isso Rozenfeld et al (2006) sugerem um *check-list* com os seguintes passos, que neste documento serão tratados como subatividades da sistemática: (i) definir os critérios de avaliação a serem utilizados no final de cada fase; (ii) avaliar se os critérios são realizados ou não, e; (iii) realizar a avaliação da fase e a aprovação.

Para se definir os critérios para a avaliação recorreu-se Zwolinski e Brissaud (2008) que propõem como critérios para avaliar um produto remanufaturável: Critérios externos (CE), que descrevem o contexto de remanufatura do produto, como os aspectos econômicos, tecnológicos, de mercado e ambientais, e; Critérios internos (CI), que descrevem as características técnicas do produto, como estrutura e remodelação. Esses critérios podem ser utilizados para garantir tanto a importância econômica do projeto como para orientar o redesign de produtos para fácil remanufatura, sendo como metas a satisfazer para um produto em desenvolvimento. Uma abordagem mais detalhada sobre esses critérios pode ser observada no item 3.3.1.9 do capítulo 3.

Assim, analisando o processo descrito anteriormente, compreendido dos procedimentos metodológicos propostos para cada

fase da sistemática que incluem ferramentas, atividades, subatividades e seus fluxos, são indicados nesta pesquisa para orientar o processo de redesign de produtos para a remanufatura.

Com relação aos ajustes propostos na sistemática, observa-se que a nova estrutura possui apenas duas fases para orientação do processo de redesign, Fase Indutiva e Fase Configurativa, em que cada uma possui duas atividades principais. Estas são decompostas em várias subatividades, trazendo visibilidade para o desenvolvimento do projeto, permitindo visualizar a complexidade do processo projetual. Tal visualização ajuda a fazer mudanças tanto na ordem de realização das atividades quanto de seus fluxos, pois permite integrar elementos de aspectos metodológicos, que constituem os procedimentos de análises, como os de caráter informacionais, que irão constituir o produto remanufaturável.

Esta estrutura facilita a visualização de todas as atividades realizadas pela equipe de desenvolvimento, bem como a interação existente entre as subatividades. Permite ainda verificar em que estágio de desenvolvimento ou redesign se encontra o produto ou peça, podendo incluir ou retirar atividades e subatividades nas duas fases de redesign definidas, inclusive, variar o uso de métodos e ferramentas, conforme necessidade do projeto.

Finalmente, atendendo as diretrizes estabelecidas para fazer mudanças na sistemática, as atividades das fases principais foram evidenciadas, mostrando os fluxos e conteúdos das entradas e saídas. Nota-se o destaque dado a ACV do produto, bem como ao processo de desmontagem, ambos avaliados pelos especialistas como necessários ao processo de redesign para remanufatura, elementos estes que deveriam constar claramente na sistemática.

## 7 CONCLUSÕES

A remanufatura é uma consequência da relação custo-benefício que faz da reutilização uma estratégia para que empresas reduzam despesas com produção ou aquisição de novas peças, e ainda possam oferecer produtos com o preço mais baixo do que um novo equivalente, promovendo a extensão da vida útil de produtos e componentes para a redução dos custos ambientais e de produção. Investir em novos processos e produtos que possam maximizar as atividades de remanufatura para a obtenção de melhorias ambientais e de concorrência, configura-se como boa oportunidade econômica para empresas que buscam por formas diferenciadas de aumentar seus lucros.

Assim, os fatores relevantes desse processo e os procedimentos e atividades a realizar para se obter um produto remanufaturável orientaram os questionamentos da pesquisa, e serviram como base para o levantamento do referencial teórico, bem como para o estudo do estado da arte dos métodos, ferramentas e técnicas encontrados na literatura científica que apóiam a tomada de decisão para o projeto de produtos remanufaturáveis.

O objetivo geral desta pesquisa foi propor uma sistemática de redesign de produtos para a remanufatura, a fim de fornecer parâmetros as equipes de desenvolvimento quanto as atividades a realizar durante o processo de redesign. Na intenção de atingir esse objetivo, se propôs inicialmente um levantamento das informações existentes sobre o produto e o processo de remanufatura para identificar, analisar e relacionar os principais elementos que caracterizam o produto remanufaturável.

Tais aspectos são listados ao longo do capítulo 3 desta tese. No entanto, o Quadro 07 de diretrizes de design para remanufatura apresenta uma listagem mais completa que abrangem os principais elementos que compõem o processo e o produto remanufaturável. Na análise desses elementos, foram identificadas como questões chaves dos aspectos técnicos principais do produto remanufaturável: (i) limpeza; (ii) necessidade de identificação das peças; (iii) orientações sobre desmontagem, tendo os fixadores como questão central neste processo; (iv) inspeção e testes; (v) materiais, formas e princípios modulares apropriados para repetitivas remanufaturas. Todos esses aspectos aparecem na sistemática como restrições ou atividades básicas que norteiam as atividades do projeto, portanto, são critérios essenciais que orientam o processo de redesign do produto remanufaturável.

Analisar e discutir modelos, técnicas e ferramentas de design para a remanufatura, considerando procedimentos e atividades mais adequadas para estabelecer critérios para o redesign de produtos para remanufatura, segundo objetivo específico estabelecido, é realizado no item 3.3.1.1 do capítulo 3, tendo o Quadro 14 como em resumo de todos os trabalhos estudados.

Para a elaboração da estrutura da sistemática, terceiro objetivo estabelecido, utilizou-se a base da técnica de modelagem apresentada por Ijomah, Childe; McMahon (2004). Trata-se de uma linguagem que ilustra graficamente os componentes e fluxos de um sistema e ainda ajuda a identificar quais atividades são executadas e como elas são realizadas. Na sistemática são ilustradas as entradas, as saídas e as atividades que transformam as entradas em saídas, estas foram baseadas no processo de design de produtos. Para a realização das atividades, são ilustradas também na sistemática as restrições que regem as condições da transformação das informações e/ou especificações, assim como os meios (métodos e ferramentas) que ajudarão na realização dessas atividades para garantir a realização de todas as fases do processo de redesign. Portanto, o sistema de modelagem utilizado para a construção da sistemática foi adequado para o seu desenvolvimento, tendo em vista que propiciou uma estrutura do processo de redesign de produtos para a remanufatura como parâmetro que poderá ser seguido pelas equipes desenvolvedoras.

Quanto ao primeiro questionamento formulado que diz respeito aos aspectos e eventuais recomendações do ciclo de vida de um produto que devem ser observados no redesign de produtos para a remanufatura, este encontra resposta na atividade de mapeamento do fluxo de materiais e de energia do produto usado durante a avaliação do ciclo de vida do produto. Durante esse mapeamento, é possível identificar os recursos consumíveis utilizados durante a vida do produto a ser redesenhado, incluindo as preocupações com a toxicidade dos materiais, o processo de fabricação, operação e descarte, além dos resíduos produzidos durante as várias etapas do fluxo de material. As recomendações sobre o ciclo de vida do produto são realizadas, portanto, na Fase Indutiva do processo de redesign, ainda durante a elaboração de uma nova lista das especificações de redesign para remanufatura, que inclui os estudos ambientais do ciclo de vida do produto existente, conforme se observa na sistemática.

A segunda questão apresentada por esta pesquisa se refere às etapas, procedimentos e atividades indicados para orientar o processo de

redesign de produtos para a remanufatura. Estas ficaram assim definidas: a fase indutiva, que tem por objetivo identificar e definir as especificações e conceitos de redesign, e: fase configurativa, que tem por objetivo determinar a melhor opção de redesign (projeto) para adaptar a estrutura física e formal do produto existente ao processo de remanufatura.

Na avaliação da sistemática, último objetivo específico estabelecido, se propôs verificar por meio de consultadas a especialistas a viabilidade da mesma, bem como a existência de falhas em sua estrutura. Ou ainda, verificar se possui os requisitos e as diretrizes que foram utilizados para sua estruturação e, por meio dessa identificação, saber se os mesmos foram adequadamente representados para correta interpretação, orientação e conseqüente viabilidade de aplicação por uma equipe de desenvolvimento.

Para essa avaliação, foram estabelecidos os critérios de julgamento aplicabilidade, adequacidade e estrutura, que deveriam ser satisfeitos por meio da identificação dos requisitos do produto e do processo de remanufatura, segundo orientações e parâmetros utilizados para a formulação da estrutura da sistemática, verificando sua viabilidade.

O método de avaliação utilizado foi o Delphi, realizado em duas rodadas. A primeira rodada buscou, além de avaliar a sistemática mediante critérios previamente estabelecidos, identificar possíveis falhas de estruturação do modelo. Tendo em vista a consecução deste objetivo, pode-se concluir que apesar de evidenciadas falhas de estruturação do modelo, o posicionamento geral dos especialistas tendeu a ser favorável em quase todos os itens que avaliaram a Sistemática de ReFRem, demonstrando um resultado qualitativo positivo quanto aos procedimentos e as atividades necessárias para orientar o processo de redesign de produtos para a remanufatura.

Como houve avaliação não consensual de alguns itens do primeiro questionário, foi realizada uma segunda aplicação Delphi a fim de obter o consenso das opiniões dos especialistas entrevistados. O segundo questionário mostrou que houve mudança significativa de posicionamento de votos da primeira para a segunda aplicação da pesquisa, indicando que apesar do alto grau de consenso na segunda aplicação, ainda permanecia dúvidas sobre essas questões, confirmando o diagnóstico do primeiro questionário.

Embora o pequeno número de questões da segunda aplicação, o resultado obtido ao término da pesquisa das duas aplicações confirmou falhas de estruturação do modelo, evidenciando como maior problemática a representação gráfica da sistemática. Com os resultados das avaliações, e mais as sugestões e críticas recebidos dos especialistas, foram estabelecidas diretrizes e realizadas mudanças na sistemática para torná-la mais clara, objetiva e aplicável.

Concluí-se que o método Delphi de avaliação utilizado revelou, segundo a percepção dos especialistas, que os métodos e ferramentas de design de produtos estruturados na sistemática de Redesign para Remanufatura, contêm os procedimentos e atividades necessárias para se obter um produto remanufaturável, possuindo, portanto, adequabilidade e aplicabilidade para o redesign de produtos existentes para remanufatura, ou seja, é um modelo válido de orientação projetual.

### 7.1 LIMITAÇÕES E RECOMENDAÇÕES

Apesar do conhecimento no mercado sobre remanufatura, ainda são poucas as empresas que investem nesta área como forma de negócio ou modelo de gestão ambiental. Na cidade de Manaus, local que se deu a pesquisa de campo, as industriais do Pólo Industrial de Manaus não mostraram muito interesse por esta pesquisa, apesar de serem responsáveis pelo abastecimento dos mais variados tipos de produtos no mercado brasileiro e que, futuramente, deverão responder pelos resíduos sólidos por elas gerados. Pelo menos esta é uma das propostas do Plano Diretor sobre a gestão de resíduos no PIM, resultante do acordo de cooperação técnica entre a SUFRAMA e a Agência Brasileira de Cooperação do Ministério das Relações Exteriores, que estabelece procedimentos visando reduzir o descarte inadequado de resíduos industriais.

A falta de interesse e crença na remanufatura foi, portanto, uma das grandes dificuldades enfrentada por este trabalho, reduzindo bastante a participação das empresas na pesquisa de campo. Além disso, a maioria das atividades realizadas nas indústrias do PIM é de implantação de produtos e não de desenvolvimento, o que contribui mais ainda para a redução do número de pessoas com conhecimento sobre o processo de desenvolvimento de produtos, condição essencial para responder o questionário e, por conseguinte, participação na pesquisa.

Inicialmente um dos objetivos da pesquisa era, após a avaliação da sistemática, realizar sua aplicação para validação por meio do

redesign de um produto (ou peça, núcleo de produtos) para remanufatura. Todavia, o tempo necessário para a realização do projeto e os custos relacionados a esse desenvolvimento limitaram a realização de tal intenção. Portanto, esta seria a primeira recomendação a se fazer, a aplicação da sistemática de ReDFRem para o redesign de um produto. Outras recomendações seriam:

- Verificar a eficiência e a eficácia da sistemática para gerar produtos remanufaturáveis, por meio da mensuração do desempenho da mesma;
- Realizar estudos mais aprofundados sobre o mapeamento do fluxo de materiais e de energia do produto usado de setores específicos como, por exemplo, da indústria automobilística, para gerar indicadores e/ou diretrizes ambientais quantificáveis da remanufaturabilidade do ciclo de vida do produto;
- Ampliar a aplicação da sistemática para produtos em desenvolvimento, ainda na fase do design informacional, realizando para isso adequações na estrutura da sistemática proposta;
- Aprofundar o estudo sobre o processo de redesign de produtos para remanufatura com metodologia orientada ao usuário, ou especificamente voltada às necessidades do mercado consumidor desses produtos.

No entanto, acredita-se que o estudo realizado sobre design para remanufatura no que diz respeito ao processo de redesign, não se apresenta definitivo ou completo, outros são necessários para fornecer uma base sólida para o desenvolvimento eficaz.

## REFERÊNCIAS

ALTING, Leo; LEGARTH, Jens Brabech. Life cycle engineering and design. **Annals** of the CIRP v. 44, n. 2, pp. 569-580, 1995.

AGÊNCIA CÂMARA. Pólo Industrial de Manaus reduziu desmatamento, aponta pesquisa. Disponível em: <http://www2.camara.gov.br/agencia/noticias>. 23.09.2009. Agência Câmara de Notícias. Acesso em: 13 set. 2010.

AMARAL, Renata V. **Bens usados x remanufaturados**: as prováveis mudanças nos cenários comerciais internacional e brasileiro. ICTSD – International Centre for Trade and Sustainable Development. v. 4, abr. 2008. Disponível em: <<http://ictsd.net/i/news/12432/>>. Acesso em: 07 out. 2009.

AMEZQUITA, T; HAMMOND, R.; SALAZAR, M.; BRAS, B. **Characterizing the remanufacturability of engineering systems**. ASME Advances in Design Automation Conference, Boston. Massachusetts. V. 82, pp. 271-278, 1995.

ARMACOST, Robert L.; BALAKRISHNAN, Deivanayak; PET-ARMACOST, Julia. **Design for remanufacturability using QFD**. Orlando, USA: Department of Industrial Engineering and Management Systems University of Central Florida, 1999.

ARVANITOYANNIS, Ioannis S. **ISO 14040**: Life Cycle Assessment (LCA) principles and guidelines. Waste Management for the Food Industries. Elsevier Inc. 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR6023: informação e documentação - referências - elaboração. Rio de Janeiro, 2002. 24p.

BARQUET, A. P.; FORCELLINI, F. A. Aspectos críticos na consolidação do sistema de manufatura. Associação Brasileira de Engenharia de Produção - ABEPRO

Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. **Revista Produção On-line**. v. 9, n.4, 2009.

BARKER, Steve; KING, Andrew. **Coherent design rationale and its importance to the remanufacturing sector**. 14 th Conference on Life Cycle Engineering. pp. 225-230. 2007.

BERKO-BOATENG, V.; AZAR, J.; JONG, E.; YANDER, G. A. **Asset recycle management: a total approach to product design for the environment**. Xerox Corporation. 1993.

BHAMRA, Tracy; HON, Bernard. **Design and manufacture for sustainable development**. Professional Engineering Publishing, Wiltshire, UK, 2004.

BOVEA, Maria R. **Valoración de productos ecológicos aplicación al diseño de mobiliário de oficina**. Tese Doctoral. Universitat Jaume I, Departamento de Tecnología. Castellón, Espanha, 2002. 260 p.

BRAS, B. A; HAMMOND, R. **Towards design for remanufacturing: metrics for assessing remanufacturability**. Proceedings of the 1st International Workshop on Reuse, (S.D. Flapper and A.J. de Ron eds.), Eindhoven, The Netherlands, pp. 5-22, 1996.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução Nº 313, de 29 de outubro de 2002**. Dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama>. Acesso em: 14 set. 2010.

COOPER, Joyce Smith; VIGON, Bruce. **Life cycle engineering guidelines**. Environmental Protection Agency. Office of Research and Development. nov. 2001.

CUHLS, Kerstin. **Delphi method**. Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research, Germany, 2003. Disponível em: [www.unido.org/fileadmin/import/16959](http://www.unido.org/fileadmin/import/16959). Acesso em: 27 ago. 2010.

DE LOË R.C. **Exploring complex policy questions using the policy Delphi** - A multi-round, interactive survey method. *Applied Geography*, v. 15, n. 1, pp.53-68, 1995.

DESAI, A.; MITAL A. Evaluation of disassemblability to enable design for disassembly in mass production. **International Journal of Industrial Ergonomics**, n.32, pp. 265-281, 2003.

DONG, Tianyang; ZHANG, Ling; TONG, Ruofeng; DONG, Jinxiang. A hierarchical approach to disassembly sequence planning for mechanical product. **International Journal Advanced Manufacturing Technology**. v.7, 2005.

DOWIE, Tracy; SIMON, Matthew. **Guidelines for designing for disassembly and recycling**. Design for Environment Research Group. Department of Mechanical Engineering, Design and Manufacture, Manchester Metropolitan University, 1994. Disponível em: <<http://teclim.ufba.br/jsf/ecodesign/dsgn0204.PDF>>. Acesso em: 23 jan. 2010.

DUFOUR, Carlos Alvarado. **Estudo do processo e das ferramentas de reprojeto de produtos industriais, como vantagem competitiva e estratégia de melhoria constante**. Dissertação de Mestrado. Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 1996.

DUFFY, A. H. B.; ANDREASEN, M. M.; MACCALLUM, K. J.; REIJS, L. N. Design coordination for concurrent engineering. **Journal of Engineering Design**. pp.251-261, 1993.

ECO-CONSCIOUS DESIGN OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC EQUIPMENT. Life Cycle Assessment (LCA). Green Tutorial, 2002. Disponível em: <<http://www.ecodesignguide.dk/>>. Acesso em: 19 dez. 2009.

FERRER, G.; WHYBARK, D. C. **From garbage to goods: successful remanufacturing systems and skills.** Business Horizons, 2000.

FERREIRA, José Vicente R. **Análise de ciclo de vida dos produtos.** Instituto Politécnico de Viseu. ESTV. Portugal, 2004.

FIKSEL, J.; WAPMAN, K. **How to design for environment and minimize the life cycle cost.** In: IEEE Symposium on Electronics and the Environment. San Francisco, CA; 1994.

GEYER, Roland; WASSENHOVE, Luk N. Van, ATASU, Atalay. The Economics of Remanufacturing Under Limited Component Durability and Finite Product Life Cycles. **Management Science**, v. 53, pp. 88-100, 2007.

GEYER, R.; JACKSON, T. Supply loops and their constraints: the industrial ecology of recycling and reuse. **California Management Review**, v. 46, n. 2, pp.55-73, 2004.

GIRALDI, Janaina de Moura Engracia; IKEDA, Ana Akemi; CARVALHO, Dirceu Tornavoi de. **Atitudes em relação a produtos brasileiros: uma investigação com estudantes holandeses.** Revista de Administração Mackenzi. Volume 9, n. 3, pp. 11-37, 2008.

GRAY, C.; CHARTER, M. **Remanufacturing and product design: designing for the 7<sup>th</sup> generation.** The Centre for Sustainable Design, University College for Creative Arts, Farnham. 2007.

GORDON, Theodore J. **The Delphi Method.** The Millennium Project: Futures Research Methodology, v.3, 1994.

GUIDE JR, V. D. R.; VAN WASSENHOVE, L. N. **The evolution of closed-loop supply chain research.** Operations Research. Vol. 57, No. 1, pp. 10–18, jan. feb. 2009.

\_\_\_\_\_. Production planning and control for remanufacturing: industry practice and research needs. **Journal of Operations Management** **18**. pp. 467-483, 2000.

HACCO, E.; SHU, L.H. **Biomimetic concept generation applied to design for remanufacture**. Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference. DETC2002/DFM-34177. Montreal, Canada, 2002.

HAMMOND, R.; AMEZQUITA, T.; BRAS, B. A. Issues in the automotive parts remanufacturing industry: discussion of results from surveys performed among remanufacturers. **International Journal of Engineering Design and Automation**. v. 4, n.1, pp. 27-46, 1998.

HASHIM, M.; JUSTER P.; PENNINGTON A. Generating Design Variants Based on Functional Reasoning. In: International Conference on Engineering design. **ICED '93**. The Hague, August 17-19, 1993.

HOLT, Raymond; BARNES, Catherine. Towards an integrated approach to “Design for X”: an agenda for decision-based DFX research. **Research in Engineering Design**, v. 21, pp. 123-136, 2010.

HAUSCHILD, M., JESWIET, J.; ALTING, L. From life cycle assessment to sustainable production: status and perspectives. **CIRP Annals**. Manufacturing Technology. v. 54, pp.1-21, 2005.

HUBKA, Vladimir; EDER, W. Ernst. **Design Science: introduction to the Needs, Scope and Organization of Engineering Design Knowledge**: Berlin, New York. Springer.1995.

HUI, K.; LAU, H.C.W.; CHAN, H. S.; LEE, K. T. **An environmental impact scoring system for manufactured**

**products.** The International Advanced Manufacturing Technology, pp.302–312, 2002.

HUNDAL, Mahendra. **Design for recycling and remanufacturing.** International Design Conference. Dubrovnik, 2000.

IJOMAH, Winifred L.; CHILDE, Steve; MCMAHON, Christopher A. **Remanufacturing:** a key strategy for sustainable development. Bath, United Kingdom: Department of Mechanical Engineering, University of Bath, 2004.

IJOMAH, Winifred L.; MCMAHON, Christopher A.; HAMMOND, Geoffrey P.; NEWMAN, Stephen T. **A robust description and tool for remanufacturing:** a resource and energy recovery strategy. Proceedings of EcoDesign 2005: 4th International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing. dez. 12-14, Tokyo, Japan, 2005.

\_\_\_\_\_; MCMAHON, Christopher A.; HAMMOND, Geoffrey P.; NEWMAN, Stephen T. **Development of design for remanufacturing guidelines to support sustainable manufacturing.** Robotics and Computer Integrated Manufacturing 23. p. 712–719, 2007.

IJOMAH, W.L.; CHILDE, S. J. A model of operations concerned in remanufacture. **International Journal of Production Research**, v.45, n. 34, pp. 5857-5880. 2007.

IJOMAH, Winifred L. **Addressing decision making for remanufacturing operations and design-for-remanufacture.** International Journal of Sustainable Engineering. v. 2, n. 2, jun. p. 91–102, 2009.

JAPKE, Onome E. **Practice Guidelines:** development of a framework for assessing the economic benefits of Remanufacturing. Centre for Remanufacturing & Reuse. apr.

2009. Disponível em: <[www.remanufacturing.org.uk](http://www.remanufacturing.org.uk)>. Acesso em 23 jan. 2009.

KRIWET, A.; ZUSSMAN, E.; SELIGER, G. Systematic integration of design-for-recycling into product design. **International Journal of Production Economics**, v. 38, n. 1, pp. 15-22, 1995.

KUO, Tsai-C; HUANG, Samul H; ZHANG, Hong-C. **Design for manufacture and design for X**: concepts, applications and perspectives. *Computers & Industrial Engineering*, v. 41. pp. 241-260, 2001.

LEVIN, J. **Estatística aplicada a ciências humanas**. 2. Ed. São Paulo: Harbra, 1987.

LIBÂNIO, Paulo Augusto Cunha. **Avaliação qualitativa do modelo de gestão da política nacional de recursos hídricos**: Interfaces com o sistema ambiental e com o setor de saneamento. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Minas Gerais, 2006, p. 318.

LINDAHL Mattias.; SUNDIN, E.; SHIMOMURA, Y.; SAKAO T. (2006a). **An interactive design methodology for service engineering of functional sales concepts**: a potential design for environment methodology. International Design Conference. Dubrovnik , Croatia, 2006.

\_\_\_\_\_.; SUNDIN, Erik; SHIMOMURA, Yoshiki; SAKAO, Tomohiko. (2006b). **An interactive design model for service engineering of functional sales offers**. International Design Conference. Dubrovnik, Croatia, 2006.

LINSTONE, Harold A.; TUROFF, Murray. **The Delphi Method**: Techniques and Applications: IS graduate student fund at NJIT. Information Systems Department. College of Computing Sciences. New Jersey Institute of Technology.

University Heights. 618p. 2002. Disponível em: <http://is.njit.edu/pubs/delphibook/>. Acesso em: 22 ago. 2010.

MANGUN, Donna; THURSTON, Deborah L. **Incorporating component reuse, remanufacture and recycle into product portfolio design**. IEEE Transactions on Engineering Management, v. 49, n. 4, nov. 2002.

MARCONI, M. D. A.; LAKATOS, E. M. **Técnicas de pesquisa**: planejamento e execução de pesquisas, amostragens e técnicas de pesquisas, elaboração, análise e interpretação de dados. 7.ed. São Paulo: Atlas. 282p. 2008.

MATA, Teresa M.; COSTA, Carlos A. V. **Norma ISO 14040**. Associação Empresarial de Portugal (AEP). Certificação Ambiental. Cadernos do Ambiente nº 4. Portugal, 1998a. Disponível em: <<http://www.aeportugal.pt/>>. Acesso em 19 dez. 2009.

MATTAR, F. N. **Pesquisa de marketing**: edição compacta. São Paulo: Atlas, 1996.

\_\_\_\_\_ ; COSTA, Carlos A. V. **Análise do ciclo de vida**: gestão ambiental/ Norma ISO 14040. Associação Empresarial de Portugal (AEP). Certificação Ambiental. Cadernos do Ambiente nº 4. Portugal, 1998b. Disponível em: <<http://www.aeportugal.pt/>>. Acessado em 19 dez. 2009.

MENEZES, Noeli. Câmara aprova projeto que responsabiliza empresas pelo lixo. Folha Online, SP. 11 fev. 2010. Disponível em: <http://www1.folha.uol.com.br/folha>. Acesso em 14 set. 2010.

MEGGINSON, Leon C.; MOSLEY, Donald C.; PIETRI, Paul H. **Administração**: Conceitos e Aplicações: São Paulo. Editora Harbra. 1998

MORAIS, Carlos Mesquita. **Escalas de medida, estatística descritiva e inferência estatística**. Escola Superior de Educação. Instituto Politécnico de Bragança: Portugal. 2005.

MUTHA, Akshay; POKHAREL, Shaligram. Strategic network design for reverse logistics and remanufacturing using new and old product modules. **Computers e Industrial Engineering Journal**, p. 334–346, 2009.

NACIONAL RESEARCH COUNCIL CANADA. Disponível em: <<http://www.nrc-cnrc.gc.ca/eng/index.html>>. Acesso em: 23 fev. 2009.

NAVIN-CHANDRA, D. **ReStar**: a design tool for environmental recovery analysis. 9th International Conference on Engineering Design, The Hague, August Heurista, Zurich, Switzerland. p. 780-787, 2003.

OKOLI, C.; PAWLOWSKI, S.D. **The Delphi method as a research tool: an example, design considerations and applications**. Information & Management, 42, pp.15-29, 2004.

OLIVEIRA, S. L. **Tratado de metodologia científica**: Projetos de Pesquisas, TGI, TCC, monografias, dissertações e teses. São Paulo: Pioneira, 1997.

O'SHEA, Miriam A. Design for environment in conceptual product design a decision model to reflect environmental issues of all life-cycle phases. **The Journal of Sustainable Product Design**. Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands. p. 11–28, 2002.

ÖSTLIN, Johan; SUNDIN, Erik; BJÖRKMAN, Mats. Product life-cycle implications for remanufacturing strategies. **Journal of Cleaner Production** 17. p. 999–1009, 2009.

PAHL, Gerhard; BEITZ, Wolfgang. **Engineering design**: a systematic approach. London: Springer.1996. ISBN 3-540-19917-9.

PAREJA, Ignacio Vélez. **El Metodo Delphi**. Facultad de Ingeniería Industrial Politécnico Grancolombiano Bogotá, Colombia, Junio de 2003.

PAN, Li; ZEID, Ibrahim. A knowledge base for indexing and retrieving disassembly plans. **Journal of Intelligent Manufacturing** 12. p. 77-94, 2001.

PAYNE Dinah M; RAIBORN Cecily A. Sustainable development: the ethics support the economics. **Journal of Business Ethics**. Kluwer Academic Publishers. Netherlands. p. 157-168, 2001.

PIGOSSO, Daniela; ZANETTE, Evelyn T; GUELERE FILHO Américo, OMETTO Aldo R; ROZENFELD, Henrique. Ecodesign methods focused on remanufacturing. **Journal of Cleaner Production**. v.18, pp.21-31, 2010.

PIRES, Adilson S. **Ambiente resíduos**: reciclagem de frascos plásticos de postos de gasolina. Disponível em: <<http://ambientes.ambientebrasil.com.br/residuos/artigos>>. Acesso em: 13 jul. 2009.

PRADO, M.R.; KASKANTZIS NETO, G. A análise do ciclo de vida como ferramenta de otimização de processos e gestão ambiental. **Revista Eletrônica Polidisciplinar Vãos**. v.1, n.1, 2º Semestre 2005. Disponível em: <<http://pluridata.sites.uol.com.br/voos.htm>>. Acesso em: 13 jul. 2009.

PUGLIERI, F. N. **Proposição de um método para a remanufatura baseado em QFD**. 2nd International Workshop Advances in Cleaner Production. São Paulo: May, 2009.

RAMOS, Andrea. **Remanufatura**: saída econômica uma forma diferenciada de agregar durabilidade e confiança com baixo custo na hora da reposição. Oficina Brasil. 177 ed. nov. 2005. Disponível em: <<http://arquivo.oficinabrasil.com.br/noticias/?COD=1951&AreaBanner=3>>. Acesso em: 07 out. 2009.

REAL, Inés Ferrer. **Contribución metodológica en técnicas para diseñar para fabricación**. Departamento de Ingeniería

Mecánica de la Construcción Industrial. Proyectos de Innovación Tecnológica en la Ingeniería de Producto y Proceso; Universitat de Girona. Tesis Doctoral.2007. 205p,

RODRÍGUEZ, Blanca Iris Romero. El análisis del ciclo de vida y la gestión ambiental: tendencias tecnológicas. **Boletín III**. p. 91-97, jul. set. 2003.

ROSE Catherine M. **Design for environment**: a method for formulating product end-of-life strategies. Department of Mechanical Engineering. Stanford University. Dissertation of Doctor of Philosophy, 2000. 175p.

\_\_\_\_\_ ; STEVELS, Ab; ISHII, Kos. **A new approach to End-of-Life Design Advisor (ELDA)**. Manufacturing Modeling Laboratory. Department of Mechanical Engineering. Stanford University. p. 99-104, 2000.

\_\_\_\_\_ ; STEVELS, Ab; ISHII, Kos. **Determining end-of-life strategies as a part of product definition**. Manufacturing Modeling Laboratory. Department of Mechanical Engineering. Stanford University. p. 219-224, 1999.

ROSEMANN, B, MEERKAMM, H. **Eco Design**: make it happen by an environmental innovative product design. International Design Conference. Dubrovnik, p.18-21, 2004.

ROWE, G.; WRIGHT, G.; BOLGER, F. **Delphi: A re-evaluation of research and theory**. Technological Forecasting and Social Change, v.39, pp. 235-251. 1991.

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F. A.; AMARAL, D. C.; TOLEDO, J. C.; SILVA, S. L.; ALLIPRANDINI, D. H.; SCALICE, R. K. **Gestão de desenvolvimento de produtos**: uma referência para a melhoria do processo. São Paulo: Editora Saraiva, 2006. 542p.

SAMPAIO, R. F.; MANCINI, M. C. Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência

científica. **Revista Brasileira de Fisioterapia**. São Carlos, v. 11, n. 1, jan. fev. 2007.

SAAVEDRA, Yovana Maria Barrera. **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**. Dissertação Mestrado. USP/Escola de Engenharia de São Carlos: Programa de Mestrado em Engenharia de Produção. 2010, 242p.

SCAPOLO, Fabiana; MILES Ian. **Eliciting experts' knowledge: A comparison of two methods**. *Technological Forecasting & Social Change*, v.73. pp.679-704, 2006.

SCHEIBE, Murray; SKUTSCH, M.; SCHOFER; J. **Experiments in Delphi Methodology**. In: TURROF, M.; LINSTONE, Harold A. *The Delphi Method techniques and applications*. University of Southern California, pp. 259 – 281, 1975.

SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Ministério das Cidades. **Diagnóstico analítico da situação da gestão municipal de resíduos sólidos no Brasil**. Brasília, 2003.

SELIGER, Günther; KERNBAUM, Sebastian; ZETTL, Marco. *Remanufacturing approaches contributing to sustainable engineering*. **Revista Gestão e Produção**. v.13, n.3, set.-dez. p.367-384. 2006.

SHERWOOD M.; SHU, Lily H. **Modified FMEA using analysis of automotive remanufacturer waste streams to support design for manufacture**. ASME 2000 Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference Baltimore, Maryland, 10-13 set. 2000.

SHEU, Daniel D; CHEN, D. R. **Forward and backward design analyses: an integrated approach**. *Proceedings of the Fifth*

Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference, 2004.

SHU, Lily H.; FLOWERS, Woodie C. **Application of a design-for-remanufacture framework to the selection of product life-cycle fastening and joining methods.** Robotics and Computer Integrated Manufacturing. p. 179 -190, 1999.

\_\_\_\_\_ ; FLOWERS, Woodie C. **Considering remanufacture and other end-of-life options in selection of fastening and joining methods.** IEEE 0-7803-21 37-5 p.75-80, 1995.

SILVA, Edna Lúcia da, MENEZES, Estera Muszkat. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação.** 4.ed. rev. atual. Florianópolis: UFSC, 2005.

SILVA, Lilian Fabiana da; OLIVEIRA, Edson Aparecida de Araújo Querido. **As exportações do pólo industrial de Manaus.** VIII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e IV Encontro Latino Americano de Pós-Graduação. Universidade do Vale do Paraíba. Disponível em: [www.inicepg.univap.br/cd/INIC\\_2004/trabalhos](http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2004/trabalhos). Acesso em: 23 set. 2010.

SKULMOSKI; HARTMAN; KHRAN (2007). The Delphi Method for Graduate Research. **Journal of Information Technology Education.** Volume 6, 2007.

STEINHILPER, Rolf. **Remanufacturing:** the ultimate form of recycling. Fraunhofer IRB Verlag; Germany, 1998.

SUFRAMA - Superintendência da Zona Franca de Manaus. **Estudo para o Desenvolvimento de uma Solução Integrada Relativa à Gestão de Resíduos Industriais no Pólo Industrial de Manaus.** Informativo. Vol. 7. Disponível em: <http://www.suframa.gov.br>. Acesso: 13 set 2010a.

\_\_\_\_\_. **Perfil das empresas com projetos aprovados pela SUFRAMA.** Superintendência da Zona

Franca de Manaus. Ministério do desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. 164p, Jun. 2010b.

\_\_\_\_\_. **Indicadores de desempenho do Pólo Industrial de Manaus 2005 - 2010.** SUFRAMA/COISE/CGPRO/SAP. Ministério do desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. 111p, Ago. 2010c.

SUH, Nam P. **Axiomatic design theory for systems.** Research in Engineering Design. Springer-Verlag London. N. 10. p. 189–209. 1998.

SUNDIN, Erik; LINDAHL, Mattias. **Rethinking product design for remanufacturing to facilitate integrated product service offerings.** Electronics and the Environment. IEEE International Symposium. May 2008.

\_\_\_\_\_; LINDAHL, Mattias; IJOMAH, Winifred. **Product design for product/service systems design: experiences from swedish industry.** Journal of Manufacturing Technology Management. v.20, n.5, p. 723-753, 2009.

\_\_\_\_\_. **Product and process design for successful remanufacturing.** Thesis: Linköping Studies in Science and Technology, Licentiate Thesis. No. 906, Department of Mechanical Engineering, Linköpings Universitet, SE-581 83 Linköping, Sweden, 2004.

STRAUSS, H. J.; ZEIGLER, L. H. The Delphi Technique and its uses. In social science research. **Journal of Creative Behavior.** N. 9, 1975, pp. 253-259

TURROF, M.; LINSTONE, Harold A. The delphi method techniques and applications. University of Southern California. 2002.

VAKILI, V.; SHU, Lily H. **Towards biomimetic concept generation.** ASME 2001 Design Engineering Technical

Conferences. Design Theory and Methodology Pittsburgh, Pennsylvania. p.9-12, 2001.

VEERAKAMOLMAL, Pitipong; GUPTA, Surendra M. A case-bases reasoning approach for automating disassembly process planning. **Journal of Intelligent Manufacturing**. p. 47-60. 13, 2002.

WRIGTH, James Terence Couter; GIOVINAZZO, Renata Alves. **Delphi - Uma ferramenta de apoio ao planejamento prospectivo**. Caderno de pesquisa em Administração. São Paulo, v. 01, n<sup>o</sup> 12, 2<sup>o</sup> trim. 2000.

ZEID, Ibrahim; GUPTA, Surendra M.; BARDASZ, Theodore. A case-based reasoning approach to planning for disassembly. **Journal of Intelligent Manufacturing** 8, 0956-5515. p.97–106, 1997.

ZWOLINSKI, Peggy; BRISSAUD, Daniel. Remanufacturing strategies to support product design and redesign. **Jornal of Engineering Design**. v. 19, n. 4, ago. p.321-335, 2008.

\_\_\_\_\_ ; TICHKIEWITCH, Serge; BRISSAUD, Daniel. **Innovation in life cycle engineering and sustainable development**: designing products that are never discarded: Springer. Netherlands, p. 225-244, 2006.

\_\_\_\_\_ ; LOPEZ-ONTIVEROS, Miguel-Angel; BRISSAUD, Daniel. Integrated design of remanufacturable products based on product profiles. **Journal of Cleaner Production**. n. 14, p. 1333-1345, 2006.

## APÊNDICES

**Apêndice A** - Exemplos dos formulários utilizados para a análise dos modelos e ferramentas de DFRem encontrados na literatura.

<b>FORMULÁRIO DE AVALIAÇÃO DAS PRÁTICAS</b>
<b>Identificação:</b> Requisitos de Design para Remanufatura (Amezquita <i>et al</i> , 1995)
<b>Caracterização:</b> Lista de requisitos de design, definidos entre obrigatórios e desejáveis, para ser utilizada por projetistas para conceber peças e produtos remanufaturáveis. Os requisitos são divididos em várias categorias principais. Em cada categoria principal existem diferentes subcategorias. Cada uma das subcategorias tem uma breve descrição das especificações mínimas a serem satisfeitas.
<b>Objetivo:</b> Oferecer orientação sobre as especificações técnicas mínimas que uma peça ou produto deve atingir para ser remanufaturável.
<b>Vantagens:</b> - Fácil uso, não depende de outros meios ou ferramentas para a sua aplicação. - Proporciona meios para selecionar qual seria o conceito do produto mais remanufaturável, dando possibilidade para considerar as mudanças que poderiam ser feitas a fim de aumentar a sua remanufaturabilidade.
<b>Desvantagens:</b> - Não oferece parâmetros quantitativos sobre as especificações técnicas descritas, ficando a responsabilidade do projetista à mensuração dos dados necessários ao processo de projeto. - Aplicável somente na fase do projeto conceitual.

<b>FORMULÁRIO DE AVALIAÇÃO DAS PRÁTICAS</b>
<b>Identificação:</b> Características de design que dificultam e que auxiliam a remanufatura Ijomah <i>et al</i> (2007)
<b>Caracterização:</b> Aborda as questões relacionadas às barreiras para a remanufatura, descrevendo o seu domínio e buscando diferenciá-la de reparo e recondicionamento. Estudos realizados a partir de workshops que

objetivou identificar, mediante consulta a especialistas, as diferentes características de design que dificultam e que auxiliam a remanufatura.
<p><b>Objetivo:</b>          Discutir e apresentar características que impedem o retorno do produto ou componente ao estado de funcionalidade para reaproveitamento. Essas características são: Uso de material não-durável; Tecnologias de união que impedem a separação dos componentes; Características que impedem ou desencorajam atualizações; Características que podem fazer regressar o produto com uma funcionalidade nova de custo muito elevado para remanufaturar.</p>
<p><b>Vantagens:</b>          Aponta os fatores que influenciam a remanufaturabilidade do produto a fim de listar as suas características mais significativas, e alinhar os seus recursos com as atividades do processo de remanufatura.</p>
<p><b>Desvantagens:</b>          Subjetividade, não apresenta detalhamento e/ou especificações das características que dificultam o retorno ao estado funcional do produto ou peça.          Dificil aplicação para a tomada de decisão durante o design de produtos para remanufatura.</p>

### FORMULÁRIO DE AVALIAÇÃO DAS PRÁTICAS

<p><b>Identificação:</b> Custo da Remanufatura em relação a outras estratégias de fim de vida do produto. Shu e Flowers (1995)</p>
<p><b>Caracterização:</b>          enfatizam a remanufatura como estratégia de fim de vida e estuda os efeitos dos métodos utilizados para unir e fixar peças que podem facilitar a montagem e a reciclagem, mas que podem impedir a remanufatura. O impacto da escolha do tipo de fixações de peças em relação às outras preocupações do ciclo de vida foi medida com o uso de um software que calcula o efeito das escolhas sobre a fabricação, montagem, manutenção, remanufatura e reciclagem, e compara o método de fixação que é usado no produto estudado com outro método alternativo</p>
<p><b>Objetivo:</b>          Mostrar que certo tipo de fixação escolhida para unir peças aumenta o custo da primeira vida do produto e da reciclagem, mas se o produto for remanufaturado o custo diminui.</p>

<p><b>Vantagens:</b> Apresenta importante parâmetro quando aponta a importância da seleção correta dos modos de fixação entre peças, que apesar do aumento dos custos na primeira fabricação, esse investimento é justificado na medida em que oferece melhores condições para desmontagem e remontagem do produto para a remanufatura.</p>
<p><b>Desvantagens:</b> Não inclui os custos de manutenção porque as conexões em estudo não eram desmontadas para esta tarefa, inclui apenas, as despesas diretamente resultantes da escolha do tipo de fixadores. Não aplicável ao processo de design de produtos.</p>

<b>FORMULÁRIO DE AVALIAÇÃO DAS PRÁTICAS</b>
<p><b>Identificação:</b> Remanufatura e métodos DFX Shu e Flowers (1999)</p>
<p><b>Caracterização:</b> Apresenta recomendações de design que favorecem o processo de remanufatura a partir do estudo de algumas metodologias de DFX, como <i>Design for Assembly</i> e <i>Design for Recycling</i>, <i>Scrap-material recycling</i>, <i>Maintenance</i>, pois segundo as autoras a aplicação de qualquer DFX que facilita a remanufatura irá facilitar também seu processo, ou seja, as etapas de desmontagem, seleção, limpeza, remodelação, montagem e avaliação.</p>
<p><b>Objetivo:</b> Projetar produtos para facilitar a remanufatura com a aplicação conjunta de outros métodos de DFX, apontando algumas prioridades de design a considerar em cada uma dessas metodologias</p>
<p><b>Vantagens:</b> Relaciona várias recomendações de design com as etapas do processo de remanufatura, especificando as restrições e os benefícios a obter com cada uma delas.</p>
<p><b>Desvantagens:</b> Necessita de maiores esclarecimentos para o seu uso durante o design do produto remanufaturável, pois não especifica o momento do processo de design, ou fases do processo, em que tais recomendações devam ser utilizadas.</p>

<b>FORMULÁRIO DE AVALIAÇÃO DAS PRÁTICAS</b>
<b>Identificação:</b> <i>End-of-Life Design Advisor – ELDA</i> Rose; Beiter; Ishii (1999)
<b>Caracterização:</b> Por meio do estudo de sete características comuns em 37 produtos, os autores identificaram as melhores práticas das estratégias de fim de vida utilizadas pela indústria. Categorizaram-nas por agentes externos, material, desmontagem, e cadeia inversa de abastecimento, que culminou na ferramenta chamada <i>End-of-Life Design Advisor – ELDA</i> , desenvolvida para ser usada na fase inicial do processo de design.
<b>Objetivo:</b> Traçar estratégias de fim de vida fundamentadas nas características técnicas dos produtos para eco-eficiência, em que se inclui a remanufatura.
<b>Vantagens:</b> Baseada na web para avaliação das estratégias de fim de vida do produto, que faz uma comparação entre as características que serão introduzidas no produto com as características de produtos existentes. Ajuda a determinar estratégias de fim de vida, auxiliando a tomada de decisão quanto a definição do produto.
<b>Desvantagens:</b> Necessita de maiores esclarecimentos para o seu uso durante o design do produto, não especifica

## Apêndice B – carta as empresas do PIM



Universidade Federal do Amazonas

Universidade Federal de Santa Catarina  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção  
Grupo de Pesquisa Engenharia do Produto e Processos



Prezado Senhor,

Meu nome é Claudete Barbosa da Silva, sou professora e pesquisadora da Universidade Federal do Amazonas do curso de Design e doutoranda do programa de Pós-graduação em Engenharia de produção da Universidade Federal de Santa Catarina, sob a orientação do Professor Eng.º Dr. Fernando Antônio Forcellini, coordenador do Grupo de Pesquisa Engenharia do Produto e Processos.

O objetivo da pesquisa de tese que realizo é propor um modelo para o redesign de produtos a fim de auxiliar as equipes de projeto durante o processo de adaptação de produtos existentes ao processo de remanufatura.

A remanufatura é uma estratégia de fim de vida que tem por objetivo prolongar a vida útil dos produtos e a reutilização de materiais e que por isso promove, ao mesmo tempo, a prevenção de resíduos e a gestão de materiais. Após, portanto, o Plano Diretor de gestão de resíduos industriais proposto pela SUFRAMA e a nova Política Nacional de Resíduos Sólidos do Governo Federal, já aprovada pela Câmara dos Deputados, que responsabiliza fabricantes e revendedores de diversos produtos pela coleta, acondicionamento, armazenamento, transporte, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final ambientalmente adequados de seus resíduos. Assim sendo, acredita-se que a proposta de um modelo do processo de redesign para a adaptação de produtos ao processo de remanufatura, corrobora com as novas ações e leis ambientais e as transformações por que deverão passar as indústrias do PIM, uma vez que o processo de remanufatura busca, por meio da recuperação e reutilização de peças, minimizar a quantidade de lixo gerado, as emissões e o consumo dos recursos naturais.

A etapa em que se encontra a pesquisa é a de avaliação do modelo do processo de redesign por especialistas de empresas e da área acadêmica que trabalham com o desenvolvimento de produtos, o objetivo é, mediante as análises feitas, realizar ajustes e corrigir prováveis falhas no modelo. Posteriormente, se pretende aplicar experimentalmente o modelo para o redesign de peça ou produto para remanufatura e testar sua viabilidade.

Diante do exposto, solicitamos sua colaboração no sentido de indicar um profissional da área de projeto/desenvolvimento de sua empresa para responder o questionário que avalia o modelo proposto. Os principais tópicos tratados são:

1. O processo de redesign de produtos, com descrição de fases, tarefas e atividades;
2. Os meios, ferramentas, métodos e procedimentos planejados e organizados a fim de assegurar o redesign do produto remanufaturável;
3. As especificidades do produto e do processo para remanufatura; e;
4. A estrutura do modelo – ReDPRem (interpretação e organização).

É importante ressaltar que as informações concebidas são confidenciais, os dados da empresa e os resultados da pesquisa serão de uso restrito e de caráter acadêmico.

Agradecemos por sua colaboração e contamos com sua participação na pesquisa. Qualquer esclarecimento sobre o trabalho favor contatar por meio do telefone (92) 8195-1195 ou pelo e-mail: claudete@ufam.edu.br ou ainda b\_claudete@hotmail.com.

Cordialmente,

**Claudete Barbosa da Silva, Designer**  
Universidade Federal do Amazonas  
Departamento de Design e Expressão Gráfica

**Fernando Antonio Forcellini, Eng.º Dr.**  
Universidade Federal de Santa Catarina  
Dep. de Engenharia de Produção e Sistemas

## Apêndice C – Carta/mensagem as empresas do PIM

Prezado(a) Senhor(a),

Meu nome é Claudete Barbosa da Silva, sou professora e pesquisadora da Universidade Federal do Amazonas do curso de Design e doutoranda do programa de Pós-Graduação em Engenharia de produção da Universidade Federal de Santa Catarina, sob a orientação do Professor Eng./Dr. Fernando Antônio Forcellini, coordenador do Grupo de Pesquisa Engenharia do Produto e Processos.

O objetivo da pesquisa de tese que realizo é propor um modelo para o reprojeto de produtos a fim de auxiliar as equipes desenvolvedoras durante o processo de adaptação de produtos existentes ao processo de remanufatura. Acredita-se que a proposta de um modelo do processo de redesign para a adaptação de produtos ao processo de remanufatura, corrobora com as novas ações e leis ambientais e as transformações por que deverão passar as indústrias do PIM para se adequar ao Plano Diretor de gestão de resíduos industriais, proposto pela SUFRAMA, e a NOVA Política Nacional de Resíduos Sólidos do Governo Federal, já aprovada pela Câmara dos Deputados.

Este projeto de pesquisa tem o apoio da SUFRAMA que viabilizou, entre outros dados, o contato com sua empresa que, acredito, pode contribuir significativamente com este trabalho.

Caso sua empresa realize alguma atividade de reprojeto de peças e partes de produtos para atendimento às necessidades do mercado local, nacional ou, até mesmo, internacional, é de relevante importância para minha pesquisa. Em anexo, envio carta com maiores informações sobre o projeto.

Agradeço sua atenção e espero contar com a participação de sua empresa na pesquisa.

Atenciosamente,

Profa. Claudete Barbosa da Silva

Doutoranda em Engenharia de Produção – PPGEP/UFSC

Universidade Federal do Amazonas/Faculdade de Tecnologia

Departamento de Design e Expressão Gráfica

Fone: 92 – 8195 1195

## **Apêndice D** - convite enviada aos especialistas

Caro Especialista

Primeiramente quero agradecer a gentileza em colaborar com esta pesquisa, contribuindo para a construção de novos conhecimentos na área de desenvolvimento de produtos ambientalmente mais amigáveis. Esta pesquisa tem por objetivo avaliar um modelo do processo de projeto de produtos, especificamente do processo de reprojeção de produtos remanufaturáveis.

Em anexo, você encontrará dois documentos, um que contém o modelo ou sistemática com uma descrição básica de sua estrutura, e outro, que contém uma explicação detalhada do modelo para ajudá-lo em sua análise. Após leitura do material de apoio em anexo, o questionário tem um tempo médio de 20 minutos para preenchimento.

Para preencher o questionário online acesse:

<https://spreadsheets.google.com/viewform?formkey=dFlhWnVLVmFGMVqBzB3VkFQWjNKUFE6MQ>

Para enviá-lo é só clicar na palavra “**submit**” no final do documento.

O método de pesquisa utilizado é o Delphi, que é uma técnica de pesquisa que visa, mediante consulta a especialistas, chegar a um consenso sobre determinado assunto, conhecimento ou captação de idéias oriundas da experiência técnica dos consultados. Este método de pesquisa acontece geralmente em duas ou mais rodadas de perguntas feitas aos especialistas. A pesquisa foi programada para acontecer em duas rodadas. Este é o primeiro questionário que, após tabulação e análise das respostas, o resultado retornará para os especialistas reavaliarem suas respostas, e assim, se procurará chegar a um consenso quanto a viabilidade da sistemática de ReDFRem. Não havendo um consenso, poderá excepcionalmente acontecer uma terceira rodada.

O prazo para envio do questionário preenchido é 15/12/2010

Grata por sua participação.

Cordialmente,

***Claudete Barbosa da Silva***

*Universidade Federal do Amazonas – DEG/FT/UFAM*

*Doutoranda em Engenharia de Produção – PPGEP/UFSC*

*Grupo de Pesquisa Engenharia de Produto e Processos*

*+55 (92) 8195 1195*

## **Apêndice E – carta aos especialistas da segunda rodada Delphi.**

Caro Especialista,

Seguindo o método Delphi, esta é a segunda e última fase da pesquisa de avaliação da sistemática de ReDFRem.

Em anexo você encontrará dois documentos, um contendo os resultados das respostas dos entrevistados da primeira rodada e, outro, contendo o modelo da sistemática que foi enviado com o primeiro questionário, caso você precise.

Para a avaliação final, você deverá concordar ou discordar das respostas dadas pela maioria. Pois, conforme estabelece o processo Delphi, este é o momento em que os especialistas devem reavaliar suas respostas a fim de se chegar a um consenso entre os avaliadores.

Este segundo formulário possui apenas as questões que não obtiveram o consenso das opiniões. No final do mesmo, foi adicionado após cada questão um quadro para que você possa justificar sua resposta.

Para acessar o segundo questionário, clicar em:

<https://spreadsheets.google.com/viewform?hl=en&formkey=dGc4a1pRTXNOVDhEM2RRHBFanh0SUE6MQ#gid=0>

Após preenchimento, clicar na palavra “submit” no final do documento para o seu envio.

**O prazo para o envio do questionário é 30.06.2011.**

Agradeço muitíssimo sua colaboração e participação nesta pesquisa. Caso seja de seu interesse, posso enviar o resultado final da pesquisa bem como a proposta final da sistemática após os ajustes e melhoramentos feitos.

Cordialmente,

***Claudete Barbosa da Silva***

*Universidade Federal do Amazonas – DEG/FT/UFAM*

*Doutoranda em Engenharia de Produção – PPGEP/UFSC*

*Grupo de Pesquisa Engenharia de Produto e Processos*

*+55 (92) 8195 1195*

## Apêndice F – Questionário de avaliação da sistemática de ReDFRem.

### AVALIAÇÃO DA SITEMÁTICA DE REDESIGN PARA REMANUFATURA - REDFREM

O objetivo deste questionário é avaliar a Sistemática de Redesign para Remanufatura – ReDFRem. Trata-se de um modelo do processo de projeto para adaptar produtos existentes à remanufatura, ou seja, produtos reprojetados para, após o uso, passar por um processo de recuperação e retornar ao mercado consumidor com garantia de qualidade equivalente a um produto similar novo. O Questionário está dividido em três blocos de questões. O primeiro faz uma avaliação quanto a aplicabilidade da sistemática ou modelo, considera os meios, métodos e procedimentos planejados e organizados a fim de assegurar o reprojeto ou redesign do produto remanufaturável. O segundo bloco avalia a adequacidade do modelo para orientar o redesign de produtos remanufaturáveis, considerando as limitações e as propriedades do produto e do processo de remanufatura e, finalmente, o último bloco de questões avalia a estrutura gráfica do modelo com suas representações. Com relação aos critérios de avaliação da sistemática, assinale sempre a opção (e somente uma) que mais reflete seu julgamento, de acordo com a escala mostrada abaixo.

- 1 - nenhuma evidência do critério;
- 2 - pouca evidência do critério;
- 3 - alguma evidência do critério;
- 4 - boa evidência do critério;
- 5 - evidência muito forte do critério.

O método utilizado nesta pesquisa é o Delphi, a princípio estabelecido para acontecer em duas rodadas. No entanto, havendo discrepância ou desacordo muito forte entre os avaliadores, poderá acontecer uma terceira rodada. No final do questionário você poderá fazer sugestões e recomendações quanto ao modelo.

I - CRITÉRIO APLICABILIDADE - 1.1 A sistemática considera as propriedades do produto remanufaturável?

	1	2	3	4	5	
Nenhuma evidência do critério	<input type="checkbox"/>	Evidência muito forte do critério.				

I - CRITÉRIO APLICABILIDADE - 1.2. Considera as etapas do processo de remanufatura para realizar o redesign.

	1	2	3	4	5	
Nenhuma evidência do critério	<input type="checkbox"/>	Evidência muito forte do critério.				

I - CRITÉRIO APLICABILIDADE. - 1.3. A sistemática utiliza ferramentas e métodos existentes de apoio ao desenvolvimento de produto, incluindo design para montagem (DFM), design para desmontagem (DFD) e de design para o meio ambiente (DFE) e o uso de matrizes de apoio a decisão.

	1	2	3	4	5	
Nenhuma evidência do critério	<input type="checkbox"/>	Evidência muito forte do critério.				

I - CRITÉRIO APLICABILIDADE. - 1.4. Propõe desenvolver guias para desmontagem do produto.

	1	2	3	4	5	
Nenhuma evidência do critério	<input type="checkbox"/>	Evidência muito forte do critério.				

I - CRITÉRIO APLICABILIDADE. - 1.5. Estabelece requisitos para o redesign do produto remanufaturável (uso de QFD).

	1	2	3	4	5	
Nenhuma evidência do critério	<input type="checkbox"/>	Evidência muito forte do critério.				

I - CRITÉRIO APLICABILIDADE. - 1.6. Considera o ciclo de vida do produto.

	1	2	3	4	5	
Nenhuma evidência do critério	<input type="checkbox"/>	Evidência muito forte do critério.				

I - CRITÉRIO APLICABILIDADE. - 1.7. São utilizadas orientações de DFRem para a adequação de produtos para a remanufatura.

	1	2	3	4	5	
Nenhuma evidência do critério	<input type="checkbox"/>	Evidência muito forte do critério.				

I - CRITÉRIO APLICABILIDADE. - 1.8. Considera as informações das especificações técnicas do produto original (estrutura, materiais, tecnologia, etc).

	1	2	3	4	5	
Nenhuma evidência do critério	<input type="checkbox"/>	Evidência muito forte do critério.				

I - CRITÉRIO APLICABILIDADE. - 1.9. Os meios/caminhos propostos conduzem ao redesign de um produto remanufaturável.

	1	2	3	4	5	
Nenhuma evidência do critério	<input type="checkbox"/>	Evidência muito forte do critério.				

I - CRITÉRIO APLICABILIDADE. - 1.10. Oferece pontos de verificação com os quais se podem acompanhar o progresso das atividades do processo de redesign.

	1	2	3	4	5	
Nenhuma evidência do critério	<input type="checkbox"/>	Evidência muito forte do critério.				

II - CRITÉRIO ADEQUACIDADE. - 2.1. As regras de design para a desmontagem são consideradas durante o redesign.

	1	2	3	4	5	
Nenhuma evidência do critério	<input type="checkbox"/>	Evidência muito forte do critério.				

II - CRITÉRIO ADEQUACIDADE. - 2.2 Considera os procedimentos de montagem do produto original.

	1	2	3	4	5	
Nenhuma evidência do critério	<input type="checkbox"/>	Evidência muito forte do critério.				

II - CRITÉRIO ADEQUACIDADE. - 2.3. Considera as especificidades de juntas e fixadores.

	1	2	3	4	5	
Nenhuma evidência do critério	<input type="checkbox"/>	Evidência muito forte do critério.				

II - CRITÉRIO ADEQUACIDADE. - 2.4. Minimiza o número de peças e de elementos de fixação e juntas.

	1	2	3	4	5	
Nenhuma evidência do critério	<input type="checkbox"/>	Evidência muito forte do critério.				

II - CRITÉRIO ADEQUACIDADE. - 2.5. Considera o redesign do produto o mais modular possível com separação de funções.

	1	2	3	4	5	
Nenhuma evidência do critério	<input type="checkbox"/>	Evidência muito forte do critério.				

II - CRITÉRIO ADEQUACIDADE. - 2.6. Considera a atualização estética do produto.

	1	2	3	4	5	
Nenhuma evidência do critério	<input type="checkbox"/>	Evidência muito forte do critério.				

II - CRITÉRIO ADEQUACIDADE. - 2.7. Considera a atualização e adaptação do produto a mudanças tecnológicas.

	1	2	3	4	5	
Nenhuma evidência do critério	<input type="checkbox"/>	Evidência muito forte do critério.				

II - CRITÉRIO ADEQUACIDADE. - 2.8. Considera a inserção de novas funções.

	1	2	3	4	5	
Nenhuma evidência do critério	<input type="checkbox"/>	Evidência muito forte do critério.				

II - CRITÉRIO ADEQUACIDADE. - 2.9. Faz considerações ambientais durante o redesign do produto (redução de emissões, do consumo de energia, da geração de resíduos).

	1	2	3	4	5	
Nenhuma evidência do critério	<input type="checkbox"/>	Evidência muito forte do critério.				

II - CRITÉRIO ADEQUACIDADE. - 2.10. considera que o produto terá mais de um ciclo de vida.

	1	2	3	4	5	
Nenhuma evidência do critério	<input type="checkbox"/>	Evidência muito forte do critério.				

II - CRITÉRIO ADEQUACIDADE. - 2.11. Considera a reutilização e recuperação de peças.

	1	2	3	4	5	
Nenhuma evidência do critério	<input type="checkbox"/>	Evidência muito forte do critério.				

III - CRITÉRIO ESTRUTURA. - 3.1. A estrutura da sistemática é simples - fácil de usar.

	1	2	3	4	5	
Nenhuma evidência do critério	<input type="checkbox"/>	Evidência muito forte do critério.				

III - CRITÉRIO ESTRUTURA. - 3.2. É clara - não contém dúvidas quanto ao seu entendimento.

	1	2	3	4	5	
Nenhuma evidência do critério	<input type="checkbox"/>	Evidência muito forte do critério.				

III - CRITÉRIO ESTRUTURA. - 3.3 É objetiva - fim que se quer atingir, no caso, realizar o redesign de um produto remanufaturável.

	1	2	3	4	5	
Nenhuma evidência do critério	<input type="checkbox"/>	Evidência muito forte do critério.				

III - CRITÉRIO ESTRUTURA. - 3.4. Ilustra todos os componentes e os fluxos existentes no sistema, identificando fases, tarefas e atividades.

	1	2	3	4	5	
Nenhuma evidência do critério	<input type="checkbox"/>	Evidência muito forte do critério.				

III - CRITÉRIO ESTRUTURA. - 3.5. Possui boa combinação de todos os elementos orientados ao objetivo que se propõe, associando as informações técnicas de projeto às atividades realizadas.

	1	2	3	4	5	
Nenhuma evidência do critério	<input type="checkbox"/>	Evidência muito forte do critério.				

Empresa/Instituição

Produtos/Atividades

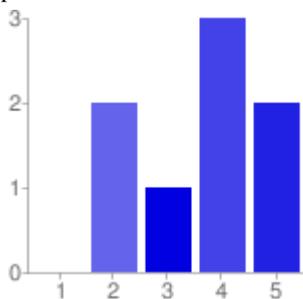
Cargo/Tempo de atuação

### Sugestões

The image shows a large, empty rectangular area with a light beige background and a dark border. This area is intended for suggestions. On the right side, there is a vertical scrollbar. At the bottom left and bottom right corners, there are small navigation arrows (back and forward) respectively.

## Apêndice G – Resultado da aplicação do primeiro questionário Delphi

I - CRITÉRIO APLICABILIDADE - 1.1 A sistemática considera as propriedades do produto remanufaturável?

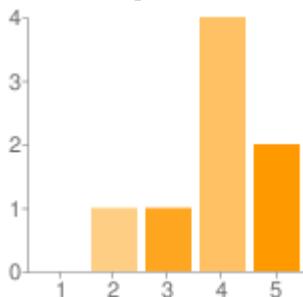


1	Não satisfaz o critério	0%
2		25%
3		13%
4		38%
5	Satisfaz completamente o critério.	25%

Nenhuma evidência do critério

Evidência muito forte do critério.

I - CRITÉRIO APLICABILIDADE - 1.2. Considera as etapas do processo de remanufatura para realizar o redesign.

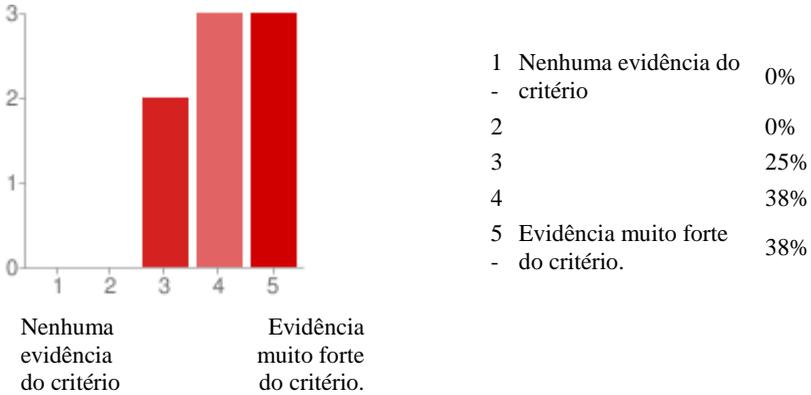


1	Nenhuma evidência do critério	0%
2		13%
3		13%
4		50%
5	Evidência muito forte do critério.	25%

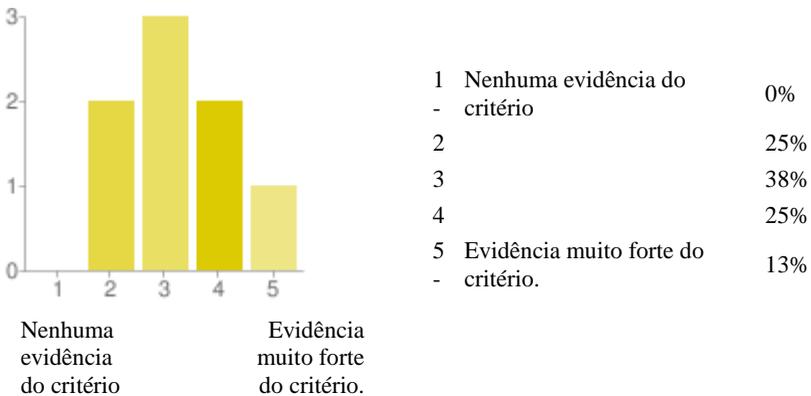
Nenhuma evidência do critério

Evidência muito forte do critério.

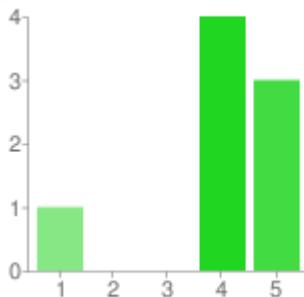
I - CRITÉRIO APLICABILIDADE. - 1.3. A sistemática utiliza ferramentas e métodos existentes de apoio ao desenvolvimento de produto, incluindo design para montagem (DFM), design para desmontagem (DFD) e de design para o meio ambiente (DFE) e o uso de matrizes de apoio a decisão.



I - CRITÉRIO APLICABILIDADE. - 1.4. Propõe desenvolver guias para desmontagem do produto.



I - CRITÉRIO APLICABILIDADE. - 1.5. Estabelece requisitos para o redesign do produto remanufaturável (uso de QFD).

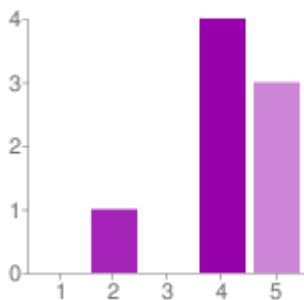


Nenhuma evidência do critério

Evidência muito forte do critério.

1	Nenhuma evidência do critério	13%
2		0%
3		0%
4		50%
5	Evidência muito forte do critério.	38%

I - CRITÉRIO APLICABILIDADE. - 1.6. Considera o ciclo de vida do produto.

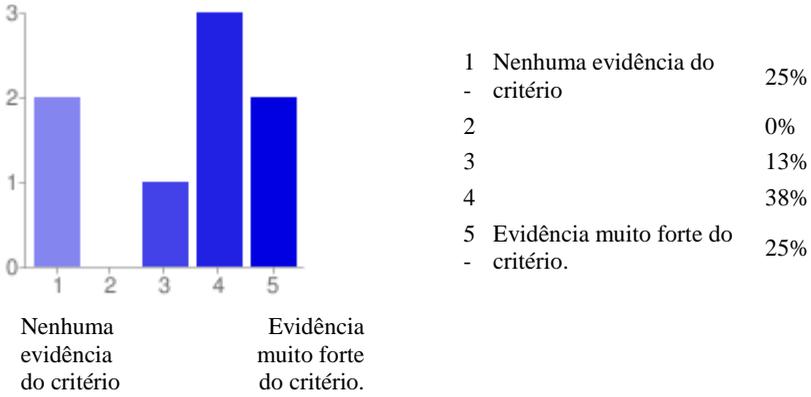


Nenhuma evidência do critério

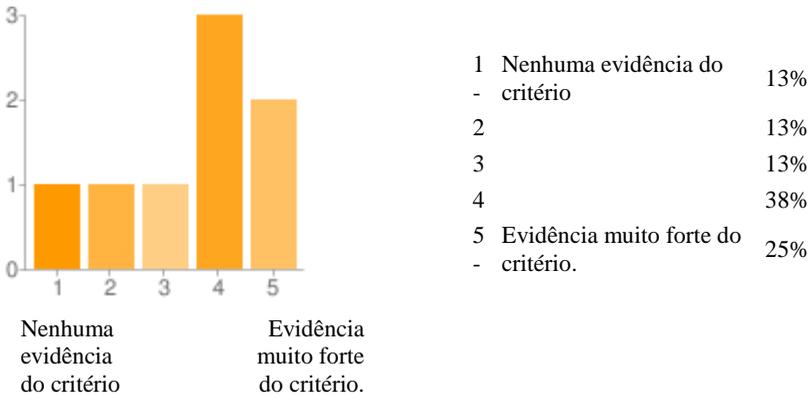
Evidência muito forte do critério.

1	Nenhuma evidência do critério	0%
2		13%
3		0%
4		50%
5	Evidência muito forte do critério.	38%

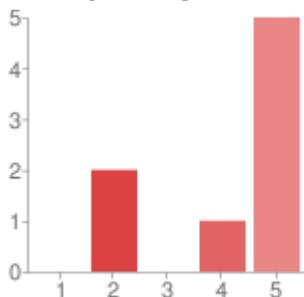
I - CRITÉRIO APLICABILIDADE. - 1.7. São utilizadas orientações de DFRem para a adequação de produtos para a remanufatura.



I - CRITÉRIO APLICABILIDADE. - 1.8. Considera as informações das especificações técnicas do produto original (estrutura, materiais, tecnologia, etc).



I - CRITÉRIO APLICABILIDADE. - 1.9. Os meios/caminhos propostos conduzem ao redesign de um produto remanufaturável.

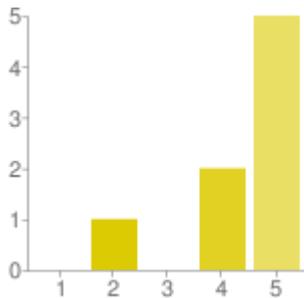


Nenhuma  
evidência  
do critério

Evidência  
muito forte  
do critério.

1	Nenhuma evidência do critério	0%
2		25%
3		0%
4		13%
5	Evidência muito forte do critério.	63%

I - CRITÉRIO APLICABILIDADE. - 1.10. Oferece pontos de verificação com os quais se podem acompanhar o progresso das atividades do processo de redesign.

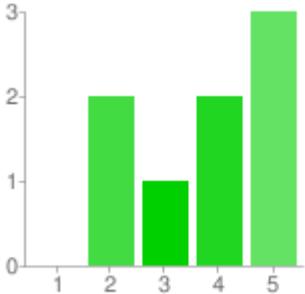


Nenhuma  
evidência  
do critério

Evidência  
muito forte  
do critério.

1	Nenhuma evidência do critério	0%
2		13%
3		0%
4		25%
5	Evidência muito forte do critério.	63%

II - CRITÉRIO ADEQUACIDADE. - 2.1. As regras de design para a desmontagem são consideradas durante o redesign.

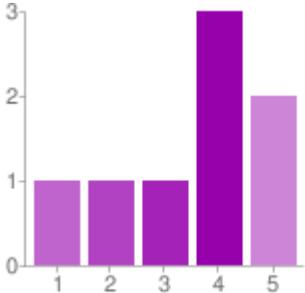


1	Nenhuma evidência do	0%
-	critério	
2		25%
3		13%
4		25%
5	Evidência muito forte do	38%
-	critério.	

Nenhuma evidência do critério

Evidência muito forte do critério.

II - CRITÉRIO ADEQUACIDADE. - 2.2 Considera os procedimentos de montagem do produto original.

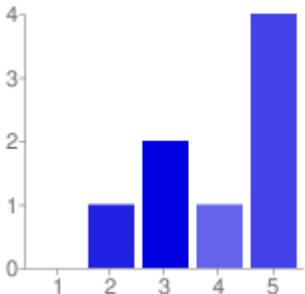


1	Nenhuma evidência do	13%
-	critério	
2		13%
3		13%
4		38%
5	Evidência muito forte do	25%
-	critério.	

Nenhuma evidência do critério

Evidência muito forte do critério.

II - CRITÉRIO ADEQUACIDADE. - 2.3. Considera as especificidades de juntas e fixadores.

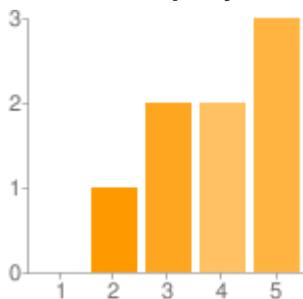


1	Nenhuma evidência do critério	0%
-		
2		13%
3		25%
4		13%
5	Evidência muito forte do	50%
-	critério.	

Nenhuma  
evidência  
do critério

Evidência  
muito forte  
do critério.

II - CRITÉRIO ADEQUACIDADE. - 2.4. Minimiza o número de peças e de elementos de fixação e juntas.

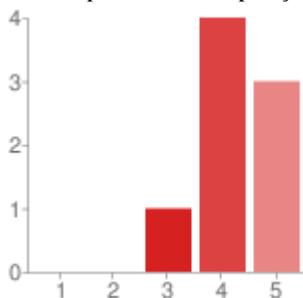


1	Nenhuma evidência do critério	0%
2		13%
3		25%
4		25%
5	Evidência muito forte do critério.	38%

Nenhuma  
evidência  
do critério

Evidência  
muito forte  
do critério.

II - CRITÉRIO ADEQUACIDADE. - 2.5. Considera o redesign do produto o mais modular possível com separação de funções.

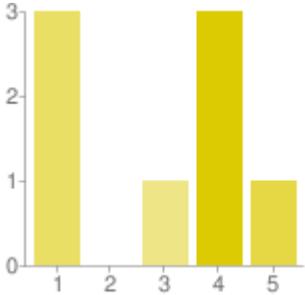


1	Nenhuma evidência do critério	0%
2		0%
3		13%
4		50%
5	Evidência muito forte do critério.	38%

Nenhuma  
evidência  
do critério

Evidência  
muito forte  
do critério.

II - CRITÉRIO ADEQUACIDADE. - 2.6. Considera a atualização estética do produto.

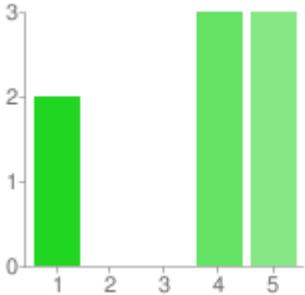


1	Nenhuma evidência do critério	38%
2		0%
3		13%
4		38%
5	Evidência muito forte do critério.	13%

Nenhuma evidência do critério

Evidência muito forte do critério.

**II - CRITÉRIO ADEQUACIDADE. - 2.7. Considera a atualização e adaptação do produto a mudanças tecnológicas.**

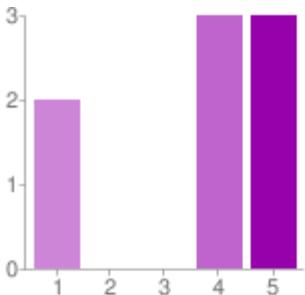


1	Nenhuma evidência do critério	25%
2		0%
3		0%
4		38%
5	Evidência muito forte do critério.	38%

Nenhuma evidência do critério

Evidência muito forte do critério.

**II - CRITÉRIO ADEQUACIDADE. - 2.8. Considera a inserção de novas funções.**

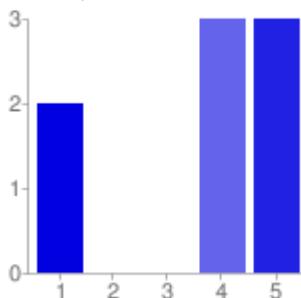


1	Nenhuma evidência do critério	25%
2		0%
3		0%
4		38%
5	Evidência muito forte do critério.	38%

Nenhuma evidência do critério

Evidência muito forte do critério.

II - CRITÉRIO ADEQUACIDADE. - 2.9. Faz considerações ambientais durante o redesign do produto (redução de emissões, do consumo de energia, da geração de resíduos).

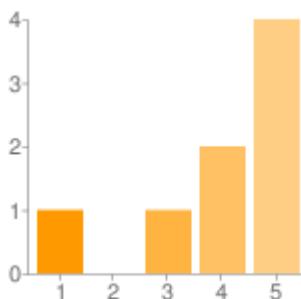


1	Nenhuma evidência do	25%
-	critério	
2		0%
3		0%
4		38%
5	Evidência muito forte do	38%
-	critério.	

Nenhuma  
evidência  
do critério

Evidência  
muito forte  
do critério.

II - CRITÉRIO ADEQUACIDADE. - 2.10. considera que o produto terá mais de um ciclo de vida.

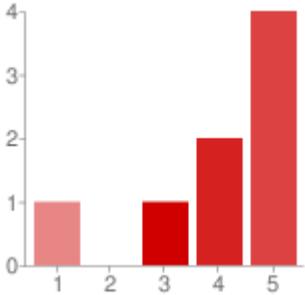


1	Nenhuma evidência do	13%
-	critério	
2		0%
3		13%
4		25%
5	Evidência muito forte do	50%
-	critério.	

Nenhuma  
evidência  
do critério

Evidência  
muito forte  
do critério.

II - CRITÉRIO ADEQUACIDADE. - 2.11. Considera a reutilização e recuperação de peças.

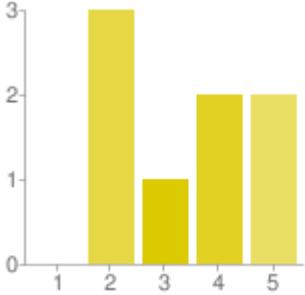


1	Nenhuma evidência do critério	13%
-		
2		0%
3		13%
4		25%
5	Evidência muito forte do critério.	50%
-		

Nenhuma evidência do critério

Evidência muito forte do critério.

III - CRITÉRIO ESTRUTURA. - 3.1. A estrutura da sistemática é simples - fácil de usar.

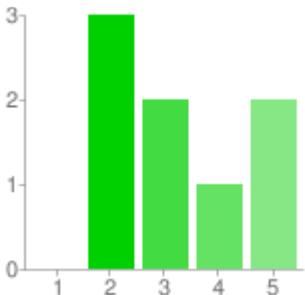


1	Nenhuma evidência do critério	0%
-		
2		38%
3		13%
4		25%
5	Evidência muito forte do critério.	25%
-		

Nenhuma evidência do critério

Evidência muito forte do critério.

III - CRITÉRIO ESTRUTURA. - 3.2. É clara - não contém dúvidas quanto ao seu entendimento.

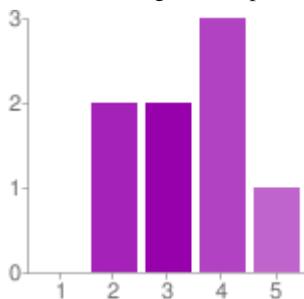


1	Nenhuma evidência do critério	0 0%
-		
2		3 38%
3		2 25%
4		1 13%
5	Evidência muito forte do critério.	2 25%
-		

Nenhuma  
evidência  
do critério

Evidência  
muito forte  
do critério.

III - CRITÉRIO ESTRUTURA. - 3.3 É objetiva - fim que se quer atingir, no caso, realizar o redesign de um produto remanufaturável.

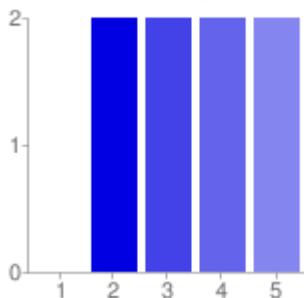


1	Nenhuma evidência do critério	0 0%
2		2 25%
3		2 25%
4		3 38%
5	Evidência muito forte do critério.	1 13%

Nenhuma  
evidência  
do critério

Evidência  
muito forte  
do critério.

III - CRITÉRIO ESTRUTURA. - 3.4. Ilustra todos os componentes e os fluxos existentes no sistema, identificando fases, tarefas e atividades.

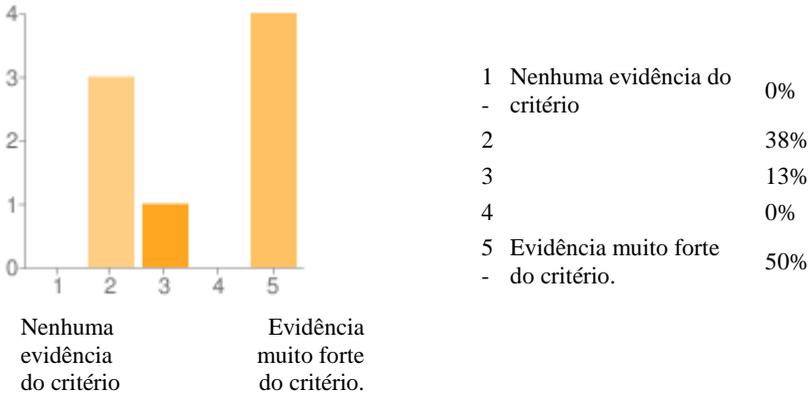


1	Nenhuma evidência do critério	0 0%
2		2 25%
3		2 25%
4		2 25%
5	Evidência muito forte do critério.	2 25%

Nenhuma  
evidência  
do critério

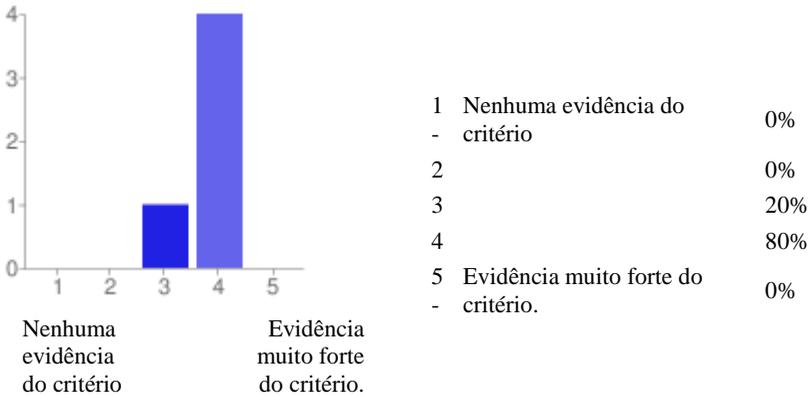
Evidência  
muito forte  
do critério.

III - CRITÉRIO ESTRUTURA. - 3.5. Possui boa combinação de todos os elementos orientados ao objetivo que se propõe, associando as informações técnicas de projeto às atividades realizadas.



**Apêndice H** – Resultado da aplicação do segundo questionário Delphi

1 - CRITÉRIO ADEQUACIDADE. - 2.6 A sistemática considera a atualização estética do produto.



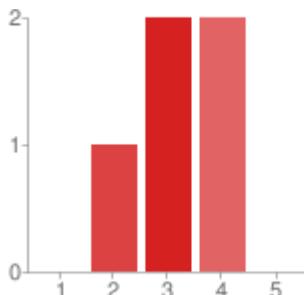
**Observações/Justificativa do voto**

Sim a medida que modifica a forma e a tecnologia muda a estética.

No que pode avaliar atende toda a parte da estética do produto A etapa 3 considera a atualização da estética através das funcionalidades que podem apresentar no produto. Compreende-se que a atualização estética do produto pode estar vinculada à estrutura funcional do sistema, mas especificamente na etapa DESENVOLVER sob o item atualização das funções, e dentre essas está a estética.

Considerando que o valor estético do produto deva se adequar aos interesses gerais do consumidor, acredito que a adequabilidade torna isso mais relevan...

III - CRITÉRIO ESTRUTURA. -3.1. A estrutura da sistemática é simples - fácil de usar.



1 - Nenhuma evidência do critério	0%
2	20%
3	40%
4	40%
5 - Evidência muito forte do critério.	0%

Nenhuma evidência do critério

Evidência muito forte do critério.

Observações/Justificativa do voto

A estrutura é um pouco complicada, e necessário estar bastante atento para o seu emprego.

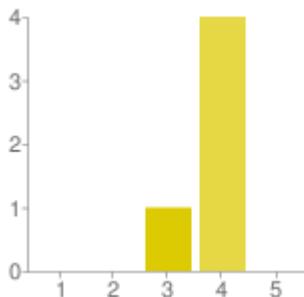
o estudo em si apresenta-se muito fácil de ser seguido e aplicado na prática.

A sistemática é relativamente complexa. Entretanto, é importante simplificar através da redução de algumas ferramentas em cada processo.

A sistemática possui um esquema de informações simples e compatível aos objetivos para a sua aplicação.

No que consiste a estrutura, ela deverá se adequar de modo simplificado, haja vista que esse novo processamento poderá resgatar o processo anterior ou fazer novas adaptações. Contudo para ser ...

4 - CRITÉRIO ESTRUTURA. - (3.4. Ilustra todos os componentes e os fluxos existentes no sistema, identificando fases, tarefas e atividades)



1 - Nenhuma evidência do critério	0%
2	0%
3	20%
4	80%
5 - Evidência muito forte do critério.	0%

Nenhuma evidência do critério

Evidência muito forte do critério.

Observações/Justificativa do voto

- Não ocorre duvidas mas e preciso bastante atenção com relação ao seu uso.
- No que pude observa a estrutura ficou muito clara sem dificuldades em ser seguida!
- A sistemática possui um grau de informações e etapas compreensíveis.
- Assim como o processo originário de fabricação, esse também deverá ser claro para quem o produzir, causando mais ainda impactos positivos sobre o a remanufatura desses produtos. Isso o tornará mais aceitável no mercado.

#### Observações/Justificativa do voto

De forma muito pratica a interação com a tecnologia atende significativamente a proposta do projeto!

As limitações do projeto podem indicar quais as tecnologias que podem ser adotadas. Porém, a mudança poderia ficar mais explícita no início do projeto.

Entende-se que a atualização e adaptação do produto a mudanças tecnolgias encontra-se especificidades dentro das diretrizes de remanufaura do produto planejadas na sistemática.

Para que se torne um produto tecnicamente viável, a adequacidade deverá fazer tais adaptações.